

… Société des Ingénieurs civils
M. Auguste PERDONNET.

CHEMINS DE FER

DE LA RÉSISTANCE DES TRAINS

PUISSANCE DES MACHINES

PAR

L. VUILLEMIN
Vice-président de la Société des Ingénieurs civils de France,
Ingénieur en chef du Matériel et de la Traction des Chemins de fer de l'Est

A. GUEBHARD
Ancien élève de l'École polytechnique,
Ingénieur du Matériel et de la Traction des Chemins de fer de l'Est

ET

C. DIEUDONNÉ
Ancien élève de l'École polytechnique,
Inspecteur du Matériel et de la Traction des Chemins de fer de l'Est

PRÉCÉDÉ D'UNE LETTRE AUX AUTEURS

PAR

M. E. FLACHAT, ingénieur
Président honoraire de la Société des Ingénieurs civils de France, Membre du Jury des Expositions de 1855, 1862 et 1867

PARIS
LIBRAIRIE SCIENTIFIQUE, INDUSTRIELLE ET AGRICOLE
Eugène LACROIX, Éditeur
LIBRAIRE DE LA SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS
Quai Malaquais

1868



CHEMINS DE FER

DE LA RÉSISTANCE DES TRAINS

ET DE LA

PUISSANCE DES MACHINES

Paris. — Imprimerie P.-A. Bourdier, Capiomont et Cie, 6, rue des Poitevins.

Ce Mémoire a remporté le prix fondé à la Société des Ingénieurs civils
par M. Auguste PERDONNET.

CHEMINS DE FER

DE LA RÉSISTANCE DES TRAINS

ET DE LA

PUISSANCE DES MACHINES

PAR

L. VUILLEMIN
Vice-président de la Société des Ingénieurs civils de France,
Ingénieur en chef du Matériel et de la Traction des Chemins de fer de l'Est

A. GUEBHARD
Ancien élève de l'École polytechnique,
Ingénieur du Matériel et de la Traction des Chemins de fer de l'Est

ET

C. DIEUDONNÉ
Ancien élève de l'École polytechnique,
Inspecteur du Matériel et de la Traction des Chemins de fer de l'Est

PRÉCÉDÉ D'UNE LETTRE AUX AUTEURS

PAR

M. E. FLACHAT, ingénieur
Président honoraire de la Société des Ingénieurs civils de France, Membre du Jury
des Expositions de 1855, 1862 et 1867.



PARIS
LIBRAIRIE SCIENTIFIQUE, INDUSTRIELLE ET AGRICOLE
Eugène LACROIX, Éditeur
LIBRAIRE DE LA SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS
Quai Malaquais

1868

LETTRE AUX AUTEURS

Paris, 10 août 1867.

MESSIEURS,

Ainsi que je vous l'ai dit, j'ai lu d'un bout à l'autre et avec le plus vif intérêt, le travail que vous avez présenté à l'occasion du concours ouvert par M. Perdonnet.

Je ne crois pas qu'il ait rien été fait de meilleur et de plus utile sur les questions qui y sont traitées, et si un pareil travail avait été exposé, je suis certain que le grand prix lui aurait été décerné.

Quant à présent, le but à poursuivre est de livrer le plus tôt possible à la publicité ces importantes recherches. Elles dépassent de beaucoup celles de Gooch, et nulle part nous ne trouverons des bases plus sérieuses au travail des machines et aux résistances en tous genres des trains.

J'attache un grand intérêt à cette publicité qui fera le plus grand bien partout, en donnant une vive impulsion au bon entretien du matériel.

Bien à vous.

EUGÈNE FLACHAT.

TABLE DES MATIÈRES

FIN DU MÉMOIRE.

NOTES A L'APPUI.

FIN DES NOTES.

TABLEAUX.

PLANCHES.

FIN.

AVANT-PROPOS.

Le 21 octobre 1864, M. Petiet, alors président de la Société des Ingénieurs civils, reçut de M. Perdonnet la lettre suivante :

Monsieur le Président,

« Depuis bien des années, je me propose de faire des expériences dans le but d'éclaircir quelques points obscurs de la théorie des résistances sur le chemin de fer et de la force développée par les locomotives. Le temps m'a toujours fait défaut pour réaliser ce projet. Trop vieux maintenant, j'y renonce. Je lègue cet héritage à de plus jeunes, et pour les encourager à l'accepter, je viens offrir à la Société des ingénieurs civils un prix de *deux mille francs*, représenté par une médaille d'or à l'effigie de George Stephenson et de Séguin aîné, qui serait décerné par une commission choisie dans le sein de la Société à l'auteur des expériences faites dans un délai de deux années; expériences qui répondraient le mieux aux questions d'un programme que j'aurai l'honneur de soumettre à l'approbation de la Société, avec prière de le modifier et de le compléter, comme elle le jugerait à propos.

« Je donne en cela un exemple qui, je l'espère, sera suivi par d'autres, et ne pourra que contribuer à la propagation des idées de progrès que la Société représente.

« Je tiens essentiellement, Monsieur le Président, à ce que cette communication soit faite par vous qui représentez si bien l'industrie des chemins de fer dans ce qu'elle a de plus avancé.

« Agréez, etc.

A. PERDONNET. »

D'accord avec M. Perdonnet la Société des Ingénieurs civils prit alors les décisions suivantes :

Prix fondé par M. PERDONNET, président honoraire de la Société, pour des expériences a faire sur les chemins de fer.

Le prix sera décerné au meilleur mémoire qui aura fait connaître les résultats d'expériences nouvelles entreprises par les concurrents, au point de vue de l'art de l'Ingénieur, sur l'une ou plusieurs des questions comprises dans le programme suivant :

Déterminer, par des expériences multipliées, la résistance des véhicules et des machines locomotives à la traction sur chemin de fer, en tenant

compte de toutes les circonstances qui peuvent les modifier, telles que : l'état des rails, des véhicules et des machines; l'intensité et la direction du vent; la surface des wagons, la longueur des trains; les dimensions des fusées et des roues; l'écartement des roues; la nature de la graisse ou de l'huile employée; la température, le mode d'attelage, le mode de chargement, le système de construction des machines; les frottements du mécanisme, l'accouplement des roues, l'échappement et le tirage, les pentes et les courbes, etc.

Déterminer séparément l'influence due à chacune des circonstances ci-dessus mentionnées.

Analyser les causes qui, dans les courbes, modifient la résistance, soit pour un véhicule isolé, soit pour une série de véhicules; contrôler le raisonnement par l'expérience.

Trouver par l'expérience une formule pratique pour calculer la charge que peut traîner une machine locomotive de forme et de dimensions connues, en tenant compte de l'adhérence et des autres conditions importantes.

Étudier les circonstances qui modifient la production de la vapeur par mètre carré de surface de chauffe, telles que : la position des parois par rapport au foyer; l'épaisseur des tôles; l'écartement des tubes, etc., etc.

Déterminer les résistances opposées au passage de la vapeur de la chaudière dans la boîte du tiroir, et de celle-ci dans le cylindre; déterminer la différence de pression de la vapeur dans la chaudière et dans le cylindre dans différentes conditions.

Rechercher l'influence de l'eau entraînée avec la vapeur sur ces différences de pression.

Examiner les causes qui influent sur la contre-pression.

Déterminer l'influence sur le tirage des dimensions de l'orifice d'échappement, de la pression et de la vitesse de sortie de la vapeur, et des dimensions de la cheminée.

Examiner les résistances qu'éprouve l'air dans son passage du foyer à la cheminée.

Les mémoires devaient être déposés avant le 1er mai 1867 et jugés par une commission composée du président alors en exercice de la Société des Ingénieurs civils et de huit membres spécialement élus.

Cette commission composée de MM. Flachat, président, Petiet, Chobrzynski, Forquenot, Leconte, Marié, Mayer, Mathieu (Henri) et Ribail, décerna à l'unanimité le prix Perdonnet au mémoire présenté au nom de la Compagnie des chemins de fer de l'Est (M. Sauvage, directeur), par MM. L. Vuillemin, A. Guebhard et C. Dieudonné.

CHEMINS DE FER

DE LA RÉSISTANCE DES TRAINS
ET
DE LA PUISSANCE DES MACHINES.

Mémoire remis par MM. L. VUILLEMIN, A. GUÉBHARD et C. DIEUDONNÉ

Pour concourir pour le Prix fondé par M. PERDONNET.

Les expériences entreprises par la Compagnie des chemins de fer de l'Est répondent à plusieurs des questions comprises dans le programme adopté par la Société des ingénieurs civils en février 1865, pour le concours fondé par M. PERDONNET.

Le présent mémoire divise *en quatre parties* les questions du programme traitées et expérimentées :

1re PARTIE. — Déterminer, par des expériences multipliées, la résistance des véhicules et des machines locomotives à la traction sur chemin de fer, en tenant compte de toutes les circonstances qui peuvent les modifier, telles que : l'état des rails, des véhicules et des machines ; l'intensité et la direction du vent ; la surface des wagons, la longueur des trains, les dimensions des fusées et des roues, la nature de la graisse ou de l'huile employée, la température, le mode d'attelage, le mode de chargement, le système de construction des machines, les frottements du mécanisme, l'accouplement des roues, les pentes et les courbes, etc.

2e PARTIE. — Déterminer séparément l'influence due à chacune des circonstances ci-dessus mentionnées.

3e PARTIE. — Analyser les causes qui, dans les courbes, modifient la résistance, soit pour un véhicule isolé, soit pour une série de véhicules ; contrôler le raisonnement par l'expérience.

4e PARTIE. — Trouver par l'expérience une formule pratique pour calculer la charge que peut traîner une machine locomotive de forme et de dimensions connues, en tenant compte de l'adhérence et des autres conditions importantes.

PREMIÈRE PARTIE.

Pour déterminer la résistance à la traction d'un véhicule ou d'une machine locomotive isolés, nous avons employé deux méthodes :

1re MÉTHODE. — Le véhicule ou la machine dont on veut connaître la résistance est lancé sur la voie à une vitesse déterminée, puis abandonné à lui-même jusqu'à l'arrêt complet. On mesure la distance parcourue, pendant que la vitesse a passé de sa valeur initiale jusqu'à zéro.

Soit : m la masse du véhicule;
v_0 sa vitesse initiale (en mètres à la seconde);
s l'espace parcouru (en mètres);
x la résistance moyenne pendant ce parcours (en kilogr.).

Si la voie est en palier, on aura l'équation suivante :

$$(\alpha) \qquad \frac{1}{2} m v_0^2 = x \times s.$$

On pourra déterminer x, valeur moyenne de la résistance.

L'équation (α) doit être complétée par un terme qui tienne compte de la puissance vive de rotation des roues. — En effet, celle-ci tend à pousser le véhicule en avant. On trouvera dans la note A le calcul détaillé relatif à cette correction, et on verra que, pour un wagon, il faut ajouter au 1er membre de l'équation un terme $25\ v_0^2$.

On a donc :

$$(\beta) \qquad \left(\frac{1}{2} m + 25\right) v_0^2 = x \times s.$$

Cette méthode peut encore conduire plus loin, c'est-à-dire à la détermination de la résistance pour une vitesse donnée, ou de l'effort de traction qu'exigerait le véhicule pour maintenir cette vitesse.

Supposons, en effet, qu'on ait noté, pendant la période de ralentissement, des points de repère pour le temps et l'espace. On pourra construire la courbe des espaces parcourus, en fonction du temps

$$s = f(t)$$

Construisons les tangentes aux différents points de cette courbe; me-

surons les angles de ces tangentes avec l'axe des abeisses; la valeur géométrique de ces tangentes, mesurées avec un cercle de rayon égal à l'unité, donne les vitesses aux différents points. On pourra donc tracer la courbe

$$v = f'(t).$$

En opérant de même sur cette deuxième courbe, on en déduira la courbe des accélérations :

$$j = f''(t).$$

En multipliant l'accélération j à un instant déterminé par la masse m, ou obtient la force appliquée

$$F = m f''(t).$$

Done, ayant construit la courbe des accélérations, il suffira de multiplier les ordonnées par une constante m, pour obtenir la force retardatrice aux différents instants.

2e MÉTHODE. — Elle consiste à expérimenter avec un dynamomètre de traction. (Voir les dessins PL. I et II.)

DESCRIPTION DU DYNAMOMÈTRE.

L'appareil est installé dans un wagon à caisse fermée, qui s'attelle immédiatement derrière le tender. La tige de traction est soudée à la chape mobile *a* du ressort dynamométrique; la chape fixe *b* de ce ressort est reliée d'une manière invariable au châssis du wagon. Ainsi, la force de traction passe par le ressort avant d'agir sur le wagon.

La chape mobile *a* porte un crayon vertical *c*, qui avance ou recule dans un plan vertical, suivant que le ressort fléchit plus ou moins. Au-dessous du crayon, dans un plan horizontal, se meut une bande de papier qui s'enroule sur le rouleau *d*; elle est sollicitée par un mouvement d'horlogerie renfermé dans la caisse *f*.

Les distances se marquent à la main, au moyen du crayon *g*. Elles sont repérées au moyen d'un compteur renfermé dans la boîte *l*, et dont la roue mère est mue par un cliquet, qui lui-même reçoit son mouvement de va-et-vient à l'aide d'un excentrique *m* monté sur l'essieu du wagon. L'aiguille fait un tour par kilomètre; les divisions du cadran sont de 10 mètres en 10 mètres.

Si le compteur vient à se déranger par des glissements dans les courbes, ou par suite des manœuvres dans les gares, il est facile de le régler à nouveau, au moyen des poteaux kilométriques de la voie.

Le crayon *h* sert à indiquer les temps : il est nécessaire qu'un second observateur marque ces temps à la main, vu que le déroulement de la

bande de papier ne peut être regardé comme uniforme à cause des soubresauts qui viennent déranger le mouvement d'horlogerie.

Le déroulement d'un rouleau dure une heure environ; la mise d'un rouleau demande cinq minutes.

Une girouette, placée au-dessus du wagon, fait mouvoir à l'intérieur une aiguille sur un cercle divisé. On peut ainsi noter en stationnement l'angle que fait le vent avec l'axe du wagon. A côté du cadran de la girouette se trouve une boussole qui donne l'angle du méridien magnétique avec l'axe du wagon : on connaît donc l'orientation du vent.

Un thermomètre donne la température.

La PL. III donne le détail du ressort dynamométrique. Les lames ont 1m,04 de longueur; elles sont au nombre de 14; les extrémités de deux lames voisines sont réunies par deux boulons et deux petites rondelles. L'assemblage est facile à faire et à défaire : on fait travailler tout le ressort ou une partie seulement, suivant que l'effort de traction doit être plus ou moins grand.

Les flexions du ressort ont été mesurées avec soin dans l'atelier, et ont été notées en regard des forces.

Il y a une échelle pour chaque accouplement, pour 2 lames, pour 4 lames, etc., et pour 14 lames. Les flexions sont à peu près rigoureusement proportionnelles aux forces.

Ce grand ressort a été fait chez MM. Petin et Gaudet. Il est excellent; sa flexibilité n'a pas été altérée par les expériences. Au milieu de nos essais, en mai 1865, nous avons fait vérifier ses flexions; elles n'avaient pas changé depuis l'origine. (Voir l'échelle des flexions, PL. III.)

Pour déterminer la résistance des trains de voyageurs ou de marchandises, nous n'avons opéré que par la méthode du dynamomètre de traction.

Notre première partie comprend trois divisions .

1° Résistance d'un wagon isolé par 2 méthodes.

2° Résistance d'une machine avec tender par 2 méthodes.

3° Résistance des trains composés de voitures ou wagons, par une seule méthode.

1° RÉSISTANCE D'UN WAGON ISOLÉ.

1re MÉTHODE. Les expériences ont été faites entre Épernay et Jâlons. (Voir le profil de la ligne de Paris à Strasbourg, PL. VI.) Cette section, longue de 18 kilomètres, est éminemment favorable à de pareils essais. En effet, la pente y est uniforme et presque nulle (rampe de 0mill,4 dans

le sens d'Épernay à Jâlons); de plus, il y a un alignement de 10 kilomètres, un autre de 3, et les courbes sont toutes courtes et de grand rayon (R = 2 à 3000 mètres).

La température moyenne a été de 25°.

RÉSISTANCE MOYENNE D'UN WAGON LANCÉ A DIFFÉRENTES VITESSES.

Le wagon à caisse fermée et à quatre roues sur lequel on a expérimenté était muni de boîtes à l'huile[1].

Le diamètre de ses roues = 1 mètre (les rais sont à bras en étoile).

Dimensions de sa caisse { hauteur. . . . $2^m,30$; largeur. . . . 2 ,60 ; longueur . . . 4 ,90 }

Ce wagon était traîné derrière une machine; l'opérateur se tenait dedans, muni d'un compteur de distance et d'un chronomètre. Lorsque la vitesse convenue était atteinte et devenue uniforme, à un signal donné, on enlevait le boulon d'attelage de la machine; celle-ci filait devant, et le wagon continuait de rouler seul, en ralentissant jusqu'à l'arrêt complet. On répétait l'expérience plusieurs fois, en variant la vitesse initiale.

Cinq expériences ont été faites; les résultats en sont consignés dans le tableau ci-après :

PROFIL de la voie. — Rampes.	VITESSE initiale en mètres à la seconde.	LONGUEUR parcourue.	RÉSISTANCE déduite de la formule.	RÉSISTANCE corrigée de la gravité.	COEFFICIENT de résistance. par tonne.
mill. 0.4	$5^m.00$	385^m	$19^k.80$	$17^k.60$	$3^k.20$
Id.	6 .65	550	24 .60	22 .40	4 .07
Id.	13 .90	1333	44 .20	42 .00	7 .63
Id.	13 .90	1408	41 .70	39 .50	7 .18
Id.	12 .50	1347	35 .30	33 .10	6 .03

La résistance totale du wagon, calculée par la formule (β), a dû subir une petite réduction, à cause d'une faible inclinaison de la voie (rampe de $0^{mill},4$).

Nous l'avons faite en supposant que, par tonne, la résistance était augmentée de $0^k,40$; cela fait pour le wagon :

$$5,5 \times 0,4 = 2^k,2.$$

1. C'était le wagon dynamomètre. Son poids était de 5,500 kilogrammes.

Nous verrons d'ailleurs, par la suite, que telle est l'influence de la gravité sur la résistance des wagons dans une rampe de $0^{mill},4$.

La dernière colonne du tableau précédent donne le coefficient moyen de résistance d'un wagon à caisse, tel que celui que nous avons décrit, roulant sur voie droite et en palier. On voit combien il augmente avec la vitesse initiale.

Si la vitesse initiale double, la résistance moyenne du wagon double à peu près aussi.

On ne peut pas dire au juste à quelle vitesse correspondent les coefficients précédemment trouvés; car la vitesse moyenne n'est pas égale à la moyenne des vitesses extrêmes, c'est-à-dire à la moitié de la vitesse initiale. On a même observé qu'elle était notablement plus petite que cette moitié, surtout si la vitesse initiale est grande, puisque la résistance croît avec la vitesse.

Pour déterminer la loi de variation des coefficients avec la vitesse, nous avons employé la méthode graphique décrite page 2. Il est certain que cette méthode est difficile à appliquer; les erreurs d'observation, les erreurs difficiles à éviter dans la constrction des tangentes peuvent se multiplier d'une courbe à l'autre; cependant nos résultats ont été assez bons.

La méthode graphique a été appliquée aux quatre premières expériences relatées dans dans le tableau de la page 5.

Les quatre séries de courbes sont représentées PL. IV.

Les parties extrêmes des courbes d'accélération présentent moins de certitude que les parties moyennes, à cause de la construction graphique des tangentes.

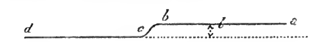
En groupant les chiffres indiqués PL. IV et faisant la correction de la gravité, on obtient le tableau suivant qui donne la loi des résistances en palier de 0 à 35 kilomètres.

VITESSES à l'heure.	RÉSISTANCE totale du wagon.	COEFFICIENT de résistance par tonne.
35km	42kg	7k.6
25k à 30k	35	6 .3
20 à 25	30	5 .4
15 à 20	24	4 .3
10 à 15	19	3 .4
5 à 10	14	2 .5
1 à 5	11.	2 .0
0	48	8 .7 (démarrage).

2e MÉTHODE. — Le wagon dynamomètre étant accroché derrière une machine, on a cherché à déterminer sa résistance propre, qui seule est

alors indiquée par la courbe. Ce résultat est intéressant à rapprocher de ceux que nous avons indiqués ci-dessus.

La traction du wagon seul est très-faible, et a dû être mesurée d'une manière spéciale. En effet, la plus petite erreur dans le tracé de la ligne des abscisses, due soit au jeu du papier sur les rouleaux, soit au défaut de centrage du crayon, serait une fraction notable de la quantité qu'il s'agit de mesurer; aussi avons-nous employé un artifice : le wagon est d'abord traîné à une vitesse uniforme, et le crayon indicateur marque un trait *ab;* puis le wagon est subitement lâché par la machine; alors le même crayon marque une ligne *cd;* la distance *l* entre les deux lignes mesure exactement la résistance du wagon.



On a ainsi trouvé que la résistance était :

De 25 kilogr. à la vitesse de 25 kilom. à l'heure, soit par tonne 4k.54.
De 50 kilogr. à la vitesse de 50 kilom. à l'heure, soit par tonne 9. 10.

Ces chiffres sont un peu inférieurs à ceux trouvés à la première méthode; cela s'explique parce que le tender masquait une partie de la face d'avant du wagon.

Le coefficient de résistance par tonne, au démarrage, de 8k,7, indiqué au tableau de la page 6, a été aussi vérifié approximativement au moyen d'un petit dynamomètre à ressort en spirale, interposé sur la chaîne qui servait à tirer doucement le wagon jusqu'à ce qu'il se mît en mouvement.

2° RÉSISTANCE DES LOCOMOTIVES LANCÉES A DIFFÉRENTES VITESSES.

1re méthode. — Les expériences ont eu lieu entre Épernay et Jâlons : des pesées étaient faites à Épernay, au départ et au retour, sur une bascule à 6 ponts, pour déterminer les poids exacts *des machines et tenders.*

On a cherché à déterminer la résistance des machines en feu et graissées, dans les conditions de marche ordinaire.

Les machines étaient lancées à des vitesses initiales différentes; puis, quand la vitesse était devenue uniforme, le régulateur était fermé, et on laissait filer jusqu'à l'arrêt complet. Les distances et les temps se mesuraient au moyen d'un chronomètre et d'un compteur de distances.

La puissance vive initiale se compose, non-seulement de la puissance vive due à la vitesse rectiligne de la masse totale, mais encore de la puissance vive due à la rotation des masses tournantes. (Voir le calcul des puissances vives de rotation, dans la note A, page 67.)

Les machines soumises à cette série d'expériences appartenaient à deux types : type 14 et type 15, machine mixte et machine à marchandises. (Voir, dans le tableau n° 1, les détails concernant tous les types de machines de la Compagnie de l'Est, auxquelles s'appliquent nos divers essais.)

V étant la vitesse à la jante, en mètres par seconde, la puissance vive de rotation de nos essieux de machines sera exprimée comme il suit

$18,4 \times V^2$ pour les roues de $1^m,20$;
$20 \times V^2$ pour les roues de $1^m,30$;
$27,4 \times V^2$ pour les roues de $1^m,68$.

Cela posé, soit :

s. l'espace parcouru;
M. la masse totale en mouvement;
V. la vitesse initiale en mètres à la seconde;
a. la résistance connue du wagon auxiliaire, dans lequel se trouvait l'opérateur;
x. la résistance inconnue du moteur (machine et tender);
b. un terme connu (dépendant des masses tournantes).

On a la formule :

$$(\gamma) \qquad \left(\frac{1}{2} M + b\right) V^2 = (a + x) \times s$$

Comme exemple d'application de cette formule (γ), prenons l'essai n° 1 du tableau n° 2. (Voir page 10.)

La machine mixte n° 249, type 14, le tender 440 et le wagon auxiliaire (total 3 véhicules) ont été lancés à la vitesse de 20 kilomètres à l'heure, puis le tout s'est arrêté en 427 mètres : la durée de ce parcours a été de 2 minutes et 30 secondes, d'où il résulte que la vitesse moyenne a été de 10 kilomètres à l'heure.

De plus on a :

$$\frac{1}{2} M = \frac{1}{19,62} \times (50400 + 5500) = 2850.$$

$$b = 25 + 2 \times 27,4 + 3 \times 18,4;$$

Tableau n° 1. — Types de machines soumises aux expériences dynamométriques.

	Roues libres. n° 1.	Roues libres. n° 2 *bis*.	Crampton n° 8.	Mixtes. n° 7.	Mixtes. n° 12.	Mixtes. n° 14.	Marchandises n° 11.	Marchandises n° 15.	Marchandises n° 20.	8 roues couplées. n° 17 *bis*.
Nombre d'essieux moteurs	1	1	1	2	2	2	3	3	3	4
Nombre total d'essieux	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4
Poids chargeant les roues motrices (avec 15 c. d'eau)	9. 852k	11. 030k	10. 275k	18. 800k	21. 400k	19. 600k	26. 791k	29. 309k	33. 000k	46. 310k
Poids total (avec 15 centim. d'eau)	22. 040k	26. 978k	27. 275k	25. 691k	25. 500k	28. 805k	26. 791k	29. 309k	33. 000k	46. 310k
Diamètre et longueur des cylindres	38c 56c	38c 56c	40c 56c	42c 56c	42c 56c	42c 56c	44c 60c	42c 61c	44c 66c	50c 66c
Diamètre des roues motrices	1m 69	2m 00	2m 30	1m 09	1m 69	1m 68	1m 43	1m 30	1m 40	1m 26
Position des cylindres	extérieurs.	extérieurs.	extérieurs.	intérieurs.	intérieurs.	extérieurs.	intérieurs.	extérieurs.	extérieurs.	extérieurs.
Écartement des essieux extrêmes	3m.015	3m.875	4m.500	3m.560	4m.210	3m.520	3m.435	3m.300	3m.550	3m.950
Dimensions des fusées des essieux. 1er essieu	15c/17c	16c/24c	15c/26c	16c/18c	16c/18c	15c/22c	16c/19c	16c/20c	18c/23c	17c/25c
2e —	16c/15c	16c/18c	13c/22c	17c/16c	16c/18c	16c/18c	17c/17c	16c/18c	18c/23c	17c/25c
3e —	15c/17c	15c/17c	18c/26c	16c/18c	13c/15c	16c/18c	16c/19c	16c/18c	18c/23c	20c/25c
4e —	•	•	•	•	•	•	•	•	•	17 25
Longueurs des bielles motrices	1m.375	1m.650	2m.070	1m.100	1m.900	1m.760	1. 550	1m.720	1m.650	2m.400
Timbre de la chaudière	8 atm.	8 atm.	8 atm.	8 atm.	8 atm.	8 atm.	8 atm.	8 atm.	8 atm.	8 atm.
Surface du foyer	5mq 06	6mq 31	0mq 65	6mq 36	7mq 41	7mq 20	7mq 25	7mq 20	8mq 05	9mq 71
Surface des tubes	62 85	69 35	84 62	81 96	74 49	93 22	91 55	93 22	113 00	183 92
Surface de chauffe totale	67 91	75 69	91 27	88 32	81 90	100 42	98 80	100 42	121 05	193 63
Longueur des tubes	3m.760	3m.011	3m.460	4m.055	3m.187	3m.994	4m.017	3m.994	4m.100	5m.000
Diamètre moyen du corps cylindrique	0m.970	1m.200	1m.266	1m.198	1m.258	1m.256	1m.258	1m.256	1m.320	1m.500
Volume d'eau (avec 15 cent. au-dessus du ciel)	2mc.040	2mc.628	3mc.355	3mc 114	2mc 890	3mc 415	2mc 990	3mc 415	3mc 926	5mc 220

Nota. Les machines à 8 roues couplées, neuves, employées sur les fortes rampes, ont la chaudière plus longue de 28 centimètres que celle des 8 roues couplées primitives, type 17 *bis*. De plus, la pression a été portée à 9 atmosphères dans ces nouvelles machines portant les n. 0.526 à 0.600.

Tableau n° 2. — Expériences sur la résistance au mouvement des machines et tenders.

NUMÉROS des essais.	TYPE DE MACHINE ET TENDER.	PROFIL de la voie.	VITESSE initiale à l'heure.	LONGUEUR parcourue.	DURÉE du parcours en secondes.	VITESSE moyenne du parcours à l'heure.	RÉSISTANCE moyenne calculée.	CORRECTION de la gravité.	RÉSISTANCE MOYENNE EN PALIER. Totale.	RÉSISTANCE MOYENNE EN PALIER. Par tonne.	MOYENNE des coefficients	OBSERVATIONS.
			kilom.	mètres		kilom.	kilogr.	kilogr.	kilogr.	kil.	kil.	
1	Mixte 219. — Type 14.	R* 0mill,4	20	427	150	10	196	20	176	3.50	3.48	* R signifie *rampe*.
2	Tender 410. — Boîtes à graisse.	Id.	20	430	157	10	194	20	174	3.46		
3	Poids, 50 000 kilogrammes.	Id.	30	688	194	12	292	20	272	5.38	4.59	
4		Id.	33	840	210	14	256	20	236	4.68		
5		P** 0mill,4	33	1115	269	15	187	20	207	4.20		** P signifie *pente*.
6		Id.	38	1465	304	17	183	20	203	4.10		
7		R 0mill,4	45	1640	280	21	243	20	223	4.42	4.81	
8		Id.	45	1437	280	18	283	20	263	5.20		
9		P 0mill,4	51	2137	362	21	237	20	257	5.20	5.67	
10		Id.	55	2047	348	21	283	20	303	6.15		
11	Mixte 253. — Type 14.	R 0mill,4	26	740	196	14	188	20	168	3.30	2.92	
12	Tender 484. — Boîtes à huile.	Id.	26	910	280	12	149	20	129	2.54		
13	Poids 50 500 kilogrammes.	Id.	31	1218	290	15	186	20	166	3.28	3.41	
14		Id.	32	1350	319	15	200	20	180	3.54		
15		Id.	43	1730	350	18	203	20	183	3.61	3.90	
16		P 0mill,4	46	2082	362	21	190	20	210	4.20		
17		Id.	60	2626	379	25	267	20	287	5.74	5.74	
18	Marchandises 0.123. — Type 15.	R 0mill,4	20	322	130	9	242	18	224	4.92	5.32	
19	Tender 118. — Boîtes à graisse.	Id.	22	346	130	10	273	18	255	5.63		
20	Poids 45 300 kilogrammes.	P 0mill,4	20	310	130	9	227	18	245	5.40		
21		R 0mill,4	26	380	132	9	350	20	330	7.28	6.43	
22		Id.	26	404	135	11	318	20	298	6.53		
23		Id.	26	450	146	11	283	20	263	5.82		
24		Id.	30	508	150	12	339	20	319	7.00		
25		Id.	32	610	165	13	312	20	292	6.45		
26		Id.	33	700	171	15	290	20	270	5.96		
27		P 0mill,4	30	680	170	14	246	20	266	5.88		
28		Id.	40	812	182	17	318	20	338	7.45	7.52	
29		Id.	39	792	180	16	326	20	346	7.60		
30	Marchandises 0.155. — Type 15.	R 0mill,4	38	990	218	16	276	20	256	5.25	5.59	
31	Tender 499. — Boîtes à huile.	Id.	40	1015	214	17	307	20	287	5.93		
	Poids 48 600 kilogrammes.											

d'où : $b = 135$,

$V^2 = 5,55^2 = 30,8$,

$a = 19,80 \qquad s = 427$.

Portant ces valeurs dans l'équation (γ), on trouve :

$$2985 \times 30,8 = (19,80 + x) \times 427;$$

d'où l'on tire :

$$x = 196.$$

Ainsi la résistance moyenne *de la machine et du tender*, pendant la période de ralentissement, a été de 196 kilogrammes ; si la voie avait été absolument de niveau, la résistance eût été diminuée de :

$$0,4 \times 50,4 = 20^k,16.$$

Soit 20 kilogrammes. Reste 176 kilogrammes, ce qui, par tonne, fait $3^k,50$.

Malgré quelques divergences qui s'expliquent bien par des variations dues à l'état de la voie et au graissage, on voit que les coefficients du tableau n° 2 peuvent se grouper de manière à fournir une loi de croissance continue suivant que la vitesse initiale augmente.

D'une machine à une autre machine du même type, la variation des coefficients, à égalité de vitesse initiale, s'explique par le rodage plus ou moins parfait des pièces frottantes. — Pour des types différents, outre cette cause, la variation dépend des dissemblances du mécanisme.

L'infériorité relative des coefficients, pour les machines 253 et 0,155, provient de ce que les tenders de ces machines sont munis de boîtes à huile.

Réunissons les chiffres portés au tableau n° 2 ; pour les deux machines mixtes, le coefficient f de résistance moyenne par tonne a les valeurs suivantes :

Pour une vitesse initiale de	20 à 29^k,	soit une vit. moy. de	11^k.	$f = 3^k,20$
» » »	30 à 39	» » »	15.	$f = 4,00$
» » »	40 à 49	» » »	20.	$f = 4,35$
» » »	50 à 60	» » »	23.	$f = 5,70$

La machine à marchandises n° 0,123 donne :

Pour une vitesse initiale de	20 à 25^k,	soit une vit. moy. de	9^k.	$f = 5^k,32$
» » »	25 à 35	» » »	12.	$f = 6,43$
» » »	35 à 40	» » »	16.	$f = 7,52$

Les résultats de la machine 0,155 ne peuvent être combinés avec ceux de la machine 0,123, parce qu'ils ne sont pas assez nombreux.

La méthode graphique des courbes d'accélération n'a pas été appliquée aux expériences dont nous venons de parler.

2e méthode. — Chaque double voyage, d'Épernay à Jâlons et retour, se faisait avec deux machines; le dynamomètre étant placé au milieu, la machine de queue, traînée à l'aller, remorquait l'autre au retour, en devenant machine de tête. La machine traînée avait le régulateur fermé, le levier de marche au point mort, et les purgeurs ouverts. Au milieu du voyage, on faisait un arrêt pour graisser les cylindres de la machine traînée.

Les types expérimentés ont été au nombre de 4; les résultats obtenus sont réunis dans le tableau n° 3.

On voit qu'aux vitesses ordinaires du service, la résistance par tonne *de machine et tender*, pour le roulement de ces véhicules et les frottements de leur mécanisme à vide, atteint les valeurs suivantes :

Machine à marchandises	(type 15)	$V = 24^k.$	$f = 9^k,52;$
» »	(type 20)	$V = 26.$	$f = 10, 24;$
» mixte	(type 14)	$V = 45.$	$f = 6, 41;$
» à roues libres	(type 1)	$V = 45.$	$f = 5, 48.$

Les chiffres trouvés par cette méthode sont naturellement supérieurs à ceux obtenus par le premier procédé : les vitesses sont généralement plus grandes, et le graissage des cylindres et des tiroirs n'est pas le même : ici, nous faisons plusieurs kilomètres sans vapeur dans les cylindres, et sans graisse; dans la première méthode, la machine ne fait que quelques cent mètres une fois le régulateur fermé.

Voici deux applications immédiates à faire des chiffres que nous venons de citer :

1° A leur vitesse normale, les machines à marchandises à 6 roues descendent seules, sans vapeur, les pentes de 9 à 10 millim.; de même les machines mixtes et à roues libres descendent seules les pentes de 5 à 6 millimètres.

2° Si l'on veut mesurer le travail total développé par une machine en tête d'un train, il faudra, au travail de traction mesuré par le dynamomètre, ajouter le travail absorbé par la machine elle-même, soit pour son transport, soit pour ses frottements. Ce calcul se fera en multipliant les coefficients ci-dessus par le poids du moteur et par la vitesse.

La machine type 20 a donné un coefficient plus fort que la machine type 15, quoique celle-ci ait des roues plus petites. Ce qui augmente la

Tableau n° 3. — Expériences dynamométriques sur la résistance des machines et tenders en mouvement.

TYPE DE MACHINE.	NUMÉRO de la machine.	PARCOURS kilométrique de la machine depuis la dernière grande réparation.	TYPE DE TENDER.	POIDS de la machine et du tender.	NOMBRE de kilomètres expérimentés.	VITESSE moyenne à l'heure.	RÉSISTANCE moyenne totale.	RÉSISTANCE par tonne de machine et de tender.	MOYENNE des résistances par tonne.
		kilom.		t. t.	kilom.	kilom.	kilom.	kilom.	kilom.
Marchandises. Type n° 15..... 6 roues couplées. D = 1m30...	0.151	18 231	4 roues, boîtes à graisse. D = 1m20...........	49 à 50	6	15	437	8.90	9.80
					10	24	497	10.00	
					4	27	515	10.50	
	0.123	8 013	4 roues, boîtes à huile.. D = 1m20...........	50 à 51	8	22	416	8.20	9.25
					4	34	523	10.30	
								Moyenne..	9.52
Marchandises. Type n° 20..... 6 roues couplées. D = 1m40...	0.295	16 403	4 roues, boîtes à graisse. D = 1m14...........	53 à 55	11	23	529	9.62	10.24
					17	30	582	10.86	
Mixtes. Type n° 14........... 4 roues couplées. D = 1m70...	249	12 895	4 roues, boîtes à graisse. D = 1m20...........	47 à 49	11	30	347	6.92	7.73
					10	49	417	8.55	
					5	62	588	12.58	
	214	20 943	4 roues, boîtes à graisse. D = 1m20...........	51 à 52	13	29	293	6.01	5.65
					3	27	272	5.30	
	189	3 185	4 roues, boîtes à huile... D = 1m20...........	51 à 53	16	35	300	5.81	5.80
					5	43	307	5.92	
								Moyenne..	0.41
Roues libres. Type n° 1....... D = 1m70.................	77	19 623	4 roues, boîtes à graisse. D = 1m00...........	37 à 38	15	50	232	6.05	5.48
					2	41	185	4.92	

résistance du type 20, c'est probablement la plus grande dimension des cylindres, et en général un peu plus de frottement dans le mécanisme.

Quant à l'influence de la vitesse sur la résistance, elle ressort clairement de ce tableau ; nous reviendrons sur ce sujet dans notre deuxième partie.

RÉSISTANCE DES LOCOMOTIVES ET TENDERS AU DÉMARRAGE.

Il y a un frottement spécial au départ, parce que l'état de lubrification des surfaces n'est pas le même que lorsque le véhicule a fait quelques tours de roue. Il y a, pour chaque véhicule donné, un effort minimum qui est nécessaire pour en opérer le démarrage; il faudrait pour déterminer exactement cet effort, tirer progressivement jusqu'à ce que la masse fasse un petit mouvement.

Cela est fort difficile à réaliser lorsqu'on démarre à l'aide d'une locomotive; de cette manière, en effet, on est presque toujours exposé à tirer plus fort qu'il n'eût été nécessaire. Cependant nous avons obtenu un démarrage remplissant à peu près les conditions voulues, en traînant une lourde machine mixte avec une petite machine à roues libres; celle-ci était obligée d'employer toute sa puissance pour le démarrage, qui, par conséquent, était fort doux. Nous avons ainsi trouvé que la machine mixte, type 14, avec son tender, exigeait au démarrage un effort de 820 kil., soit $15^k,90$ par tonne.

Un démarrage doux a été fait aussi sur la machine à marchandises, type 15 : l'effort a été de $19^k,70$ par tonne.

Ces chiffres indiquent à peu près la valeur des frottements au départ.

Si maintenant on démarre plus énergiquement, la force maxima indiquée par la courbe n'est pas seulement employée à vaincre les frottements; elle donne aussi de l'accélération à la masse remorquée.

C'est ainsi que nous avons observé, au démarrage d'une machine mixte, un effort qui a été jusqu'à 40 kilogr. par tonne; et cependant on ne pouvait pas dire que ce démarrage fût brusque. Tous les jours, dans le service des chemins de fer, on fait des démarrages pareils.

RÉSISTANCE DES TENDERS SEULS.

On a expérimenté au dynamomètre des tenders isolés. (Voir le tableau n° 4.) La résistance moyenne est de $5^k,16$ par tonne, à la vitesse de 27 à 32 kilom., et de $7^k,00$ par tonne, à la vitesse de 45 kilomètres.

TABLEAU N° 4.

Expériences dynamométriques sur la résistance des tenders en mouvement.

TYPE DE TENDER.	NUMÉRO du tender.	POIDS du tender.	NOMBRE de kilomètres expérimentés.	VITESSE moyenne à l'heure.	RÉSISTANCE moyenne totale.	RÉSISTANCE par tonne.	MOYENNE des résistances.
		k.	k.	k.	k.	k.	
Boîtes à graisse, 4 roues. D = 1m.20.	440	19.510	3	29	99	5.07	
		18.600	4	27	93	4.98	5k.16
		18.600	5	32	101	5.48	
		19.510	2	44	128	6.56	7k.00
	174	21.400	14	45	160	7.45	

RÉSISTANCE DES MACHINES A 4 ESSSIEUX COUPLÉS.

Quelques expériences ont été faites pour déterminer spécialement la résistance des machines à 4 essieux couplés du dépôt de Forbach. Nous n'avions à notre disposition qu'une voie de 300 mètres, en alignement; par conséquent, il était impossible de dépasser une faible vitesse. La température était + 5 degrés centigrades.

On allait et venait sur la voie de 300 mètres; chaque essai a été répété deux fois, afin de prendre une moyenne.

Deux machines, 0,177 et 0,168, ont été traînées avec leurs tenders : la machine 0,177 était chaude et en pression; la machine 0,168 était froide.

Voici les résistances données par la courbe dynamométrique :

1° Machine 0,177 (poids de la machine et du tender = 63,100^{k}).

Au 1er essai.	1460^{k}
Au 2e essai.	1470
Moyenne.	1465^{k}

2° Machine 0,168 (poids de la machine et du tender = 64,700^{k}).

Au 1er essai.	1300^{k}
Au 2e essai.	1370
Moyenne.	1335^{k}

Moyenne des deux résultats : 1400 kilogr., soit 21^{k},50 par tonne.

La vitesse a varié de 6 à 10 kilomètres à l'heure.

Les expériences dont nous venons de parler ont été faites avec le plus grand soin. Néanmoins, il est certain qu'on ne peut leur accorder au-

tant de confiance qu'à celles faites sur des parcours de 10 à 12 kilom., entre Épernay et Jâlons.

Nous avons déterminé la résistance opposée par la machine à 4 essieux au démarrage :

Elle est de 30 kilogrammes par tonne.

3° RÉSISTANCE DES TRAINS EN GÉNÉRAL.

Pour arriver à mesurer l'effort dû à la résistance des trains, sur la barre d'attelage du tender, nous avons toujours eu recours au dynamomètre décrit page 3, n'opérant par conséquent que par la deuxième méthode. — Comme exemple du mode d'expérimentation et de calcul, nous joignons à ce mémoire un diagramme (PL. V) où l'on trouvera tous les détails du calcul pour une partie du train (E) 74 du 22 mars 1867. C'est un train de marchandises sur forte rampe (15 millim. par mètre); la traction est faite par une machine à 8 roues couplées.

Les temps sont marqués de 30 secondes en 30 secondes ; les distances sont marquées de 500 mètres en 500 mètres, et, lorsque la vitesse baisse beaucoup, de 250 en 250 mètres.

Tout ce qui est tracé sur le diagramme en trait plein a été fait au moment de l'expérience; les indications en traits pointillés ont été faites au bureau, pour les besoins du calcul.

Le papier marchait de gauche à droite; donc, pour suivre l'ordre de l'expérience, il faut étudier la courbe de droite à gauche.

Comme le crayon marquant la force n'est pas placé dans le même plan vertical que les deux crayons indiquant le temps et l'espace[1], il faut déplacer la courbe de 95 millim., qui est la distance entre les deux plans : la ligne *a b* représente la force au moment où l'on a passé au poteau 89.

Chaque période de distance donne lieu à un calcul de force, de temps, de vitesse et de travail.

Exemple : Entre le poteau 88 1/2 et le poteau 89. La quadrature de la courbe se fait au moyen de deux trapèzes; on en déduit que la force moyenne a été de 4190 kilogr. pendant ce parcours. Il y a eu 3 pointages de 30 secondes, plus une fraction qui correspond à 12 secondes; total 102". Il en résulte une vitesse de 17k,7 à l'heure, et un travail de 275 chevaux sur la barre d'attelage du tender.

Cela posé, tous les chiffres du rouleau sont relevés et inscrits sur une feuille autographiée, destinée au calcul des résultats généraux du train. (Voir le tableau n° 5.)

1. Cette disposition était nécessaire pour laisser le chemin libre au crayon des forces, dans ses oscillations.

Essais dynamométriques.

Train n° (E) 74 du 22 mars 1867, de Vielsalm à Gouvy.

Tableau n° 5.

Machine n° 0529. (Type à 4 essieux couplés.)

POTEAUX kilométriques.	PROFIL de la voie.	COURBURE de la voie.	POIDS brut du train.	NOMBRE et espèces de véhicules.	CONDITIONS atmosphériques.	EFFORTS ACCUSÉS par le dynamomètre.	MOYENNE DES EFFORTS.	RÉSISTANCE PAR TONNE effective.	RÉSISTANCE PAR TONNE après correction de la gravité.	VITESSE A L'HEURE.	MOYENNE DES VITESSES.	TRAVAIL EN CHEVAUX.	MOYENNE DU TRAVAIL.	OBSERVATIONS.
			tonnes.			kilogr.	kil.	kil.	kil.		kil.	chev.		
90		Rayon minimum des courbes 400 mètres.	233	16 wagons (tous graissés à l'huile.)	Un peu de neige et de vent.									
89 500						3530				12.1		159		Entre les poteaux 87 et 86 la limite supérieure des oscillations de la courbe correspondait à 5,200 kilogrammes.
89	R. 15 millim.					4590				15.3		258		
88 500	—					4190				17.7		275		
88	—				$t = +4°$.	4080				19.0		286		
87 500	—					4110				19.3		293		
87	R. 9 et 15 mill.					3700				20.3		278		
86 500	R. 18 millim.					4280				15.3		242		Dépense d'eau de Vielsalm à Gouvy 1,980 litres.
86 250	—					4730	4250	18.24	2.74	14.7	16.8	205	263	
86	—					4780				13.6		242		
85 500	R. 15^{mill},5.					4350				»		»		La machine brûle des briquettes.
85	—					4170				»		»		
84 500	—					4120				18.2		272		
84	—					4230				18.1		285		
83 500	—					4220				15.5		249		Pression dans la chaudière, 9 atmosphères.
83	—					4210				17.9		280		

Les efforts calculés, comme nous l'avons dit, sont inscrits en regard des poteaux correspondants. Lorsque le profil a été à peu près constant sur un long parcours, lorsque la vitesse a elle-même peu varié, on peut calculer :

1° L'effort moyen;

2° La vitesse moyenne;

3° Le travail moyen de traction.

Connaissant la charge brute du train en tonnes, on en déduit la résistance moyenne effective par tonne.

Sur la feuille que nous donnons comme exemple, on voit que la résistance moyenne effective par tonne a été de 18k,24. Or, la rampe moyenne était de 15mill,50; donc la résistance moyenne, corrigée de la gravité, est de 2k,74 par tonne.

Nous avons expérimenté les trains tels qu'ils se présentaient en service, sans qu'on fît de *trains spéciaux d'expérience*. Nous voulions surprendre, pour ainsi dire, *sur le fait*, les circonstances ordinaires du service. Au point de vue purement technique, il est certain qu'il y aurait plus grande facilité, pour l'expérimentateur, à se faire composer des trains spéciaux réunissant telles et telles conditions de chargement, de vitesse ou de graissage, mais cela serait fort difficile à réaliser dans l'exploitation journalière d'une compagnie.

Les résultats ont été réunis dans plusieurs tableaux (tableaux I à X). Les tableaux I à V inclus donnent ce qui concerne les trains de marchandises; le tableau VI est pour les trains mixtes; les tableaux VII à X sont pour les trains de voyageurs. Le parcours total expérimenté est de :

1360 kilomètres en trains de marchandises,
451 » » mixtes,
1601 » » de voyageurs,

ce qui fait 3412 kilomètres pour l'ensemble de l'expérimentation.

Le nombre total des trains est de 139,

dont 54 trains de voyageurs,
9 trains mixtes;
76 trains de marchandises.

EXPLICATION DES TABLEAUX DE RÉSISTANCE DES TRAINS.

Tableaux I a VI, concernant les trains de marchandises et mixtes[1].

Une feuille semblable au tableau n° 5 a été établie pour chaque train.

1° Colonne intitulée *Nombre de kilomètres expérimentés.*

1. Voir, à la fin, les tableaux I à X.

Le nombre de kilomètres inscrits dans cette colonne est de 6 pour le train (E) 74, qui se trouve le dernier du tableau V; ce nombre correspond aux accolades du tableau 5, et non pas au parcours entier du train.

Nous avons donc négligé, sur le parcours total des trains expérimentés, une certaine fraction qui, dans quelques cas, a été considérable.— Nous savons, en effet, qu'on ne peut faire entrer dans le calcul des moyennes les portions du parcours où la voie est trop accidentée, ou bien encore où la vitesse a été trop variable. Il faut, pour l'exactitude des calculs, que l'effort de traction ait été continu d'un bout à l'autre de la période, et même à peu près uniforme. Ces conditions ont été réalisées sur tous les parcours kilométriques inscrits dans la colonne.

2° Colonne intitulée *Charge brute du train.*

La charge brute du train se compose de deux éléments :

Le poids mort des wagons et leur charge utile : le poids mort était obtenu par le relevé des tares; la charge utile était donnée exactement par les feuilles des chefs de train.

3° Colonne intitulée *Profil de la voie.*

L'inclinaison est absolument constante, ou bien elle a varié dans des limites étroites; dans ce dernier cas, le chiffre inscrit dans la colonne est une moyenne; c'est le cas du train (E) 74.

4° Colonnes intitulées *Effort de traction*, *effort par tonne* (absolu).

L'effort de traction correspond à la moyenne des ordonnées de la courbe dynamométrique; l'effort f par tonne, absolu ou effectif, s'obtient en divisant l'effort de traction R par le poids brut du train en tonnes; c'est le cas du tableau n° 5.

Cependant, s'il y a une correction à faire, pour tenir compte d'une accélération positive ou négative (Voir note A), l'effort absolu par tonne f se déduit encore de l'effort de traction R relevé sur le diagramme, mais il ne s'en déduit plus aussi simplement que tout à l'heure.

5° Colonne intitulée *Effort par tonne corrigé*, c'est-à-dire après correction de la gravité.

Nous établirons plus loin que le coefficient de résistance sur une rampe d'inclinaison i est égal à

$$f + i,$$

c'est-à-dire que f étant la résistance par tonne d'un train donné en palier, si ce train vient à aborder une rampe d'inclinaison i, sans que sa vitesse ni aucune des conditions de traction aient changé, la résistance par tonne sur la rampe devient

$$f + i,$$

i étant le nombre de millimètres de la tangente de l'inclinaison par mètre.

Pour rendre comparables entre eux les trains expérimentés sur des profils différents, et éliminer la part de la gravité, nous avons dans chaque cas retranché *i* de la résistance absolue, de sorte que la dernière colonne donne les valeurs de *f* en palier.

Passons aux *tableaux VII à X, concernant les trains de voyageurs*[1].

Nous n'avons à donner pour ces tableaux que deux explications spéciales :

1° Le calcul de la charge utile des trains s'est fait en relevant sur les feuilles de service le poids des bagages et messageries, et en ajoutant le poids des voyageurs, qu'on évaluait en les comptant et en admettant 70 kilogr. par tête (ce n'est pas trop pour tenir compte des colis à la main).

2° On ne s'est pas contenté de calculer la résistance par tonne, comme pour les trains de marchandises; on a, de plus, calculé la résistance par voiture : cela est très-utile pour les trains de voyageurs; le poids brut du véhicule varie entre des limites bien moins écartées que dans les trains de marchandises; les véhicules sont tous à caisses couvertes, reçoivent tous l'action résistante de l'air, et, par conséquent, absorbent une part à peu près égale de la résistance totale du train.

ÉTUDE DES TRAINS DE MARCHANDISES.

Les expériences présentées dans les tableaux I à V se sont étendues entre les limites suivantes :

1° Le nombre de machines employées à la remorque des trains a été de une ou deux; le nombre des essieux accouplés a été de deux, trois ou quatre par machine; le poids adhérent a varié de 20 tonnes à 46 tonnes;

2° La charge brute des trains a varié de 152 à 571 tonnes; le nombre des véhicules par train a varié de 12 à 56; il y a eu des trains de matériel absolument vide, complétement chargé et incomplétement chargé;

3° La proportion des wagons plats[2] a varié de 0 à 97 p. 100; la proportion des wagons graissés à l'huile, de 2 à 100 p. 100;

4° L'inclinaison de la voie a varié entre une pente de 1 millième et une rampe de 20 millièmes; le rayon minimum des courbes est descendu à 400 mètres;

1. Voir, à la fin, les tableaux VII à X.

2. Nous avons compris sous le nom de wagons plats tous ceux qui n'ont pas une caisse fermée comme les voitures à voyageurs.

5° Les températures ont oscillé entre moins 4° et + 26° centigrades. Il y a eu des temps calmes, du vent faible et du vent fort, des temps secs, des temps de pluie, de brouillard et de neige;

6° La vitesse moyenne de marche a oscillé entre 10 kilomètres et 39 kilomètres à l'heure.

Voilà pour les données.

Quant aux résultats, voici entre quelles limites ils ont été compris :

1° L'effort de traction a varié de 825 à 4690 kilogr. (en laissant de côté les cas de double traction);

2° La résistance absolue par tonne a varié de 2,74 à 22,48 kilogr., suivant le profil;

3° Le coefficient de résistance en palier, ou ramené au palier, a varié de 2,21 à 8,60 kilogr., suivant la vitesse et l'état de l'atmosphère.

Les tableaux n°s 6 et 7 sont tirés des tableaux I à V et groupent les trains qui ont rencontré les mêmes circonstances de traction.

Dans ces deux tableaux, les circonstances de voie et de vitesse sont les mêmes.

On voit, dans le second (n° 7), que les coefficients de résistance sont plus grands que ceux du premier.

Cette différence est due à plusieurs causes:

1° A la faiblesse du poids utile;

2° Aux conditions atmosphériques (vent, gelée, etc.).

On a dans le tableau n° 6 (page 23) :

Pour une vitesse de 17 à 26 kil. $f = 3^k,15$
Pour une vitesse de 26 à 32 $f = 3,95$

Ce qui donne, pour un train dans de bonnes conditions de charge poids moyen par wagon $\geq$ 8000 kil., et pour une vitesse moyenne de service, $f = 3^k,55$ en palier.

Dans le tableau n° 7 (page 24), on trouve pour cette même vitesse moyenne de service :

Temps calme, gelée, bonne charge utile.	$f = 5^k,09$
» » » faible charge utile.	$f = 6,26$
Vent, bonne charge utile.	$f = 5,06$
» faible charge utile.	$f = 5,87$
Temps calme, faible charge utile.	$f = 4,87$

Plus la charge utile est faible, et plus le nombre d'essieux est grand pour un même tonnage brut. On voit combien cette cause influe sur le coefficient de traction, même sans que la voie renferme de courbes de rayon inférieur à 1000 mètres.

ÉTUDE DES TRAINS MIXTES.

Voici les limites entre lesquelles se sont étendues les expériences consignées dans le tableau VI :

1° Le nombre des machines a été de une ou deux, le nombre des essieux accouplés de deux ou trois par machine; le poids adhérent de 20 à 27 tonnes;

2° La charge brute des trains a varié de 120 à 239 tonnes; le nombre des véhicules par train a été de 14 à 30;

3° La proportion des wagons plats a été de 0 à 75 p. 100; la proportion des wagons graissés à l'huile n'a guère dépassé 15 p. 100;

4° L'inclinaison de la voie a varié, entre des limites peu étendues, d'une pente de $0^{mill},40$ à une rampe de $3^{mill},50$; le rayon minimum des courbes a été de 1000 mètres;

5° La vitesse moyenne de marche a oscillé entre 25 kilomètres et 52 kilomètres à l'heure. Cette dernière vitesse est évidemment bien supérieure à la vitesse réglementaire des trains mixtes; mais quand les vitesses ont atteint des valeurs aussi élevées, c'est que les trains avaient du retard qu'il fallait regagner.

Le tableau 8 (page 26) groupe les trains mixtes qui ont rencontré les mêmes circonstances de traction.

Dans de bonnes conditions de voie, de temps et de chargement, et à leur vitesse moyenne de 34 à 44 kil., ces trains ont donné un coefficient moyen

$$f = 4^k,67.$$

C'est celui qui correspond au coefficient moyen

$$f = 3^k,55$$

que nous avons trouvé pour les trains de marchandises à la vitesse moyenne de 20 à 30 kilomètres.

Beau temps, mauvaise charge utile . . . . . . $f = 5^k,48$
Vent, bonne charge utile.. . . . . $f = 5,62$

ÉTUDE DES TRAINS de VOYAGEURS.

Les expériences contenues dans les tableaux VII à X se sont étendues entre les limites suivantes :

1° Le nombre de machines a été de une ou deux; le nombre des essieux accouplés au plus de deux par machine; le poids adhérent de 9,800 à 22,000 kilogr.;

2° La charge brute des trains a varié de 30 à 116 tonnes, et le nombre de véhicules par train de 5 à 20;

Tableau n° 6. — Traction des trains de marchandises.

Désignation du train.	Nombre de wagons.	Poids brut total.	Poids brut par wagon.	Température	Proportion des wagons plats.	Proportion des wagons graissés à l'huile.	Vitesse à l'heure.	Résistance par tonne corrigée de la gravité.	Observations.
		tonnes.	kilogr.				kilom.	kilom.	
199. Du 20 juin 1862.	53	567	10.700	+14°	»	»	20	3.12	Tous ces trains ont réalisé les conditions suivantes : $i < 3$ millimètres. $R \geqq 1000$ mètres. $t > 5°$. Poids brut du wagon > 8000 kilogr. Vent insensible.
62. Du 27 février 1863.	28	306	11.000	+13°	14 0/0	43 0/0	25	3.14	
40. 62. Du 28 avril 1864.	60	509	8.500	+18°	»	»	26	3.20	
66. Du 31 août 1864.	34	332	9.700	»	25 0/0	11 0/0	17	3.14	
							Moyenne.	3.15	
567. Du 27 juin 1862.	27	221	8.200	+22°	»	»	29	4.43	
562. Du 15 juin 1862.	33	301	9.100	+20°	»	»	29	4.32	
64. Du 19 mars 1863.	29	321	11.100	+6°	50 0/0	14 0/0	28	4.01	
62. Du 27 févr. 1863.	28	306	11.400	+13°	14 0/0	43 0/0	31	3.18	
78. Du 17 mars 1864.	46	474	10.300	+14°	»	»	31	3.98	
88. Du 18 mars 1864.	26	249	9.500	+12°	45 0/0	»	29	4.05	
78. Du 12 avril 1864.	28	300	10.700	+12°	28 0/0	71 0/0	32	4.33	
78. Du 12 avril 1864.	30	326	10.900	+18°	30 0/0	71 0/0	29	3.54	
78. Du 13 avril 1864.	55	536	9.700	+19°	36 0/0	»	31	4.41	
78. Du 13 avril 1864.	55	536	9.700	+19°	36 0/0	»	31	3.54	
66. Du 31 août 1864.	32	296	9.200	»	25 0/0	11 0/0	30	3 71	
							Moyenne.	3.95	
						Moyenne générale.		3.55	

Tableau N° 7. — Traction des trains de marchandises.

Trains à traction difficile pour causes diverses.

DÉSIGNATION DU TRAIN.	NOMBRE de wagons.	POIDS BRUT. total.	POIDS BRUT. par wagon	CIRCONSTANCES ATMOSPHÉRIQUES.	température.	PROPORTION des wagons plats.	PROPORTION des wagons graissés à l'huile.	VITESSE à l'heure.	RÉSISTANCE par tonne corrigée	MOYENNE des coefficients.
		tonnes.	kil.		degrés.	p. 100.	p. 100.	km.	kil.	kil.
85. Du 22 février 1863.	37	281	7600	Brouill., temps calme.	T — 3	16	»	25	4.70	
85. Du 22 février 1863.	37	281	7600	Brouill., temps calme.	T — 2	16	»	25	5.23	5.09
88. Du 13 février 1865.	25	216	8600	Temps calme.	T — 2	»	»	31	5.58	
88. Du 13 février 1865.	25	216	8600	Temps calme.	T — 2	»	»	33	4.80	
61. Du 14 février 1865.	39	206	5400	Temps calme.	T — 3	65	10	26	6.40	
75. Du 13 février 1865.	38	175	4600	Temps calme.	T — 3	80	25	33	7.27	6.26
85. Du 27 février 1863.	37	249	6700	Temps calme.	T — 2	30	3	25	4.88	
85. Du 27 février 1863.	39	267	6800	Temps calme.	T — 1	30	3	27	5.37	
91. Du 13 avril 1864.	40	338	8400	Vent.	T + 7	»	»	28	4.78	
91. Du 13 avril 1864.	40	338	8400	Vent.	T + 10	»	»	27	5.14	
91. Du 13 avril 1864.	38	323	8500	Vent.	T + 10	»	»	26	5.92	
91. Du 13 avril 1864.	38	323	8500	Vent.	T + 10	»	»	27	5.40	5.06
91. Du 13 avril 1864.	38	323	8500	Vent.	T + 12	»	»	28	5.89	
66. Du 7 avril 1864.	34	320	9600	Vent.	T +	60	»	24	4.68	
78. Du 17 mars 1864.	47	478	10200	Vent.	T + 14	»	»	29	4.82	
89. Du 14 avril 1864.	44	240	5400	Vent.	T + 8	66	9	30	6.03	
89. Du 14 avril 1864.	44	240	5400	Vent.	T + 8	66	9	27	6.20	
89. Du 14 avril 1864.	48	267	5500	Vent.	T + 10	66	0	20	7.73	
89. Du 14 avril 1864.	48	267	5500	Vent.	T + 10	66	9	27	7.60	
89. Du 14 avril 1864.	45	245	5400	Vent.	T + 10	66	9	26	7.46	
89. Du 14 avril 1864.	45	245	5400	Vent.	T + 12	66	9	28	6.83	
80. Du 14 avril 1864.	39	199	5100	Vent.	T + 18	66	9	31	7.90	

OBSERVATIONS.

Tous les trains du tableau ont réuni les conditions suivantes :

$i < 3$ millimètres.

$R \geqq 1000$ mètres.

$V < 35$ kilomètres.

Pour calculer les moyennes de la dernière colonne, on n'a compté qu'un coefficient par train, à moins qu'un même train n'ait présenté des circonstances très-variables de traction.

Dans ce cas, un train peut compter pour plusieurs coefficients dans le calcul de la moyenne.

89. Du 18 mars 1864.	38	264	6900	Vent.	T + 11	30	8	28	4.79	
89. Du 18 mars 1864.	38	264	6900	Vent.	T + 11	30	8	18	5.94	5.87
89. Du 18 mars 1864.	38	264	6900	Vent.	T + 11	30	8	26	5.92	
89. Du 18 mars 1864.	37	258	6900	Vent.	T + 11	30	8	32	6.15	
91. Du 17 mars 1864.	26	169	6300	Vent.	T + 5	»	»	24	6.93	
91. Du 17 mars 1864.	26	169	6300	Vent.	T + 5	»	»	25	7.68	
91. Du 17 mars 1864.	25	160	6400	Vent.	T + 8	»	»	30	7.87	
563. Du 14 juin 1862.	34	238	7000	Vent.	T + 15	»	»	24	4.55	
564. Du 24 juin 1862.	30	180	6000	Vent.	T + 18	»	»	24	5.06	
564. Du 24 juin 1862.	41	210	5100	Vent.	T + 18	»	»	20	5.16	
564. Du 24 juin 1862.	41	210	5100	Vent.	T + 18	»	»	28	6.45	
3/64. Du 22 juin 1864.	49	309	6300	Vent.	T + 18	50	»	24	4.82	
83. Du 6 avril 1864.	51	298	5800	Temps calme.		40	»	31	5.06	
83. Du 6 avril 1864.	44	244	5500	Temps calme.		40	»	26	4.93	
83. Du 6 avril 1864.	41	226	5500	Temps calme.		40	»	25	5.24	
77. Du 6 déc. 1862.	30	189	6300	Temps calme.	T + 12	18	»	32	5.20	
77. Du 6 déc. 1862.	28	172	6100	Temps calme.	T + 12	18	»	36	5.70	
562 Du 25 juin 1862.	28	196	7000	Temps calme.	T + 22	»	»	28	6.00	
81. Du 11 avril 1864.	43	254	5900	Temps calme.	T + 12	30	5	25	5.43	
81. Du 11 avril 1864.	43	254	5900	Temps calme.	T + 12	30	5	23	5.53	
81. Du 1er sept. 1864.	52	318	6100	Temps calme.	T + 25	40	7	29	3.74	
81. Du 1er sept. 1864.	49	299	6100	Temps calme.	T + 25	40	7	34	4.34	
75. Du 31 août 1864.	42	307	7300	Temps calme.	T + 20	14	7	20	4.19	4.87
75. Du 31 août 1864.	42	307	7300	Temps calme.	T + 20	14	7	27	3.83	
75. Du 31 août 1864.	41	297	7200	Temps calme.	T + 20	14	7	14	4.15	
75. Du 31 août 1864.	40	273	6800	Temps calme.	T + 20	14	7	30	3.41	
75. Du 31 août 1864.	41	264	6400	Temps calme.	T + 20	14	7	21	4.51	
81. Du 17 juin 1864.	55	336	6100	Temps calme.	T + 21	27	»	17	3.22	
40/69. Du 29 av. 1864.	31	184	5900			»	»	24	4.77	
83. Du 16 mars 1864.	29	196	6700	Temps calme.	T + 6	31	7	22	5.00	
83. Du 16 mars 1864.	29	196	6700	Temps calme.	T + 6	31	7	26	5.14	
83. Du 16 mars 1864.	37	279	7500	Temps calme.	T + 9	23	5	33	4.12	
85. Du 26 nov. 1862.	33	207	6200	Temps calme.	T + 5	26	13	30	5.70	
85. Du 26 nov. 1862.	33	207	6200	Temps calme.	T + 5	26	13	26	6.00	
85. Du 26 nov. 1862.	33	207	6200	Temps calme.	T + 5	26	13	29	5.89	

Tableau n° 8. — Traction des trains mixtes.

(*Vitesse comprise entre 34 et 44 kilomètres.*)

$i < 3$ millimètres. Rayon des courbes $\geqq$ 1000 mètres. $t > 0°$.

DÉSIGNATION DU TRAIN.	NOMBRE de wagons.	POIDS BRUT		TEMPÉRATURE.	PROPORTION des wagons plats.	PROPORTION des wagons graissés à l'huile.	VITESSE à l'heure.	RÉSISTANCE par tonne corrigée de la gravité.	OBSERVATIONS.
		total.	par wagon.						
		tonnes.	kilogr.				kilom.	kilom.	
100. Du 25 avril 1862.	24	239	9950	»	0	»	36	4.64	
100. Du 25 avril 1862.	25	227	9080	»	0	»	38	4.60	
38. Du 5 déc. 1862.	22	200	9050	»	0	»	37	4.67	Poids brut du wagon plus grand que 8000 kilogr.
38. Du 16 déc. 1862.	18	174	9650	+1°	»	»	39	4.43	
46. Du 19 nov. 1864.	14	120	8550	+5°	0	»	44	5.18	
							Moyenne.	4.67	Beau temps.
100. Du 16 avril 1862.	28	207	7380	»	»	»	34	5.22	
100. Du 16 avril 1862.	25	190	7580	»	»	»	42	5.75	
							Moyenne.	5.48	Faible charge utile. Beau temps.
100. Du 25 nov. 1862.	27	212	7850	+4°	37 0/0	11 0/0	35	5.45	
100. Du 25 nov. 1862.	24	197	8200	+4°	40 0/0	15 0/0	34	5.12	
100. Du 25 nov. 1862.	24	197	8200	+4°	40 0/0	15 0/0	35	5.54	
46. Du 15 nov 1864.	23	217	9450	+9°	75 0/0	»	42	5.98	
46. Du 17 nov. 1864.	19	172	9050	+11°	0	»	36	5.78	
46. Du 17 nov. 1864.	19	172	9050	+11°	0	»	42	5.66	
							Moyenne	5.62	Vent. Bonne charge utile.

3° Toutes les voitures étaient à caisse fermée ; la proportion des voitures graissées à l'huile a été de 7 p. 100 à 50 p. 100 ;

4° L'inclinaison de la voie a varié depuis la pente de 0^{mill},75 jusqu'à la rampe 10 mill. ; le rayon minimum des courbes a été de 700 mètres.

Quant aux résultats, voici entre quelles limites ils ont été compris :

1° L'effort de traction a varié de 505 à 1400 kilogr. pour une seule machine ;

2° L'effort absolu par voiture a varié de 32 à 131 kilogr. ; l'effort absolu par tonne a varié de 5,08 à 20,39 kilogr. ;

3° L'effort corrigé de la gravité a varié :

Par voiture, de 21 à 131 kilogr. ;

Par tonne, de 3,75 à 20,26 kilogr.

Le tableau n° 9 groupe les coefficients fournis par les trains longs.

Le nombre de voitures a été de 14 à 17. Voici la valeur des coefficients moyens :

Pour V = 45 kil. . . . . f = 5^k,98
Pour V = 52 » . . . . f = 6, 53
Pour V = 60 » . . . . f = 8, 05

Le tableau n° 10 (page 29) concerne les trains courts.

Le nombre de voitures a été de 8 à 10. Voici la valeur des coefficients moyens :

Pour V = 46 kil. . . . . f = 7^k,21
Pour V = 58 » . . . . f = 9, 57
Pour V = 76 » . . . . f = 14, 55

Nous observerons que ce dernier coefficient 14,55 provient d'un train express, et que les voitures des express présentent en moyenne plus de surface à l'air que les autres. Cette cause s'est donc ajoutée à l'accroissement de la vitesse pour grossir le coefficient.

TRAINS DE VOYAGEURS A TRACTION DIFFICILE.

Dans le tableau n° 11 (page 29), nous avons réuni quelques trains à traction difficile, soit à cause du vent, soit à cause du graissage.

Le tableau n° 11 s'applique à des trains ayant plus de 10 voitures ; il donne le coefficient moyen de 10^k,84 pour une vitesse moyenne de 47 kil. à l'heure.

Ces trois tableaux 9, 10 et 11 sont extraits des tableaux généraux.

Tableau n° 9. — Traction des trains de voyageurs.

$i < 3$ millimètres. $R \geqq 1000$ mètres. $t > 0°$. $n > 10$. Temps calme.

Désignation du train.	Nombre de wagons.	Poids brut total.	Proportion des wagons graissés à l'huile.	Température.	Vitesse à l'heure.	Moyenne des vitesses.	Résistance par tonne en palier.	Moyenne des résistances.	Résistance moyenne par voiture.	Moyenne des résistances par voiture.
		tonnes.			kilom.	kilom.		kil.	kil.	kil.
35. Du 27 avril 1862.	14	90	»	+ 14°	47	45	6.24	5.98	40	37
36. Du 26 mai 1862.	17	101	»	22°	46		5.54		33	
40. 26. Du 28 avril 1866.	17	101	30 0/0	20°	44		6.43		38	
44. Du 8 juin 1866.	17	107	17 0/0	25°	45		5.73		36	
35. Du 27 avril 1862.	14	90	»	14°	54	52	6.95	6.53	44	40
35. Du 1er mai 1862.	16	101	»	»	50		6.03		38	
36. Du 6 mai 1862.	17	101	»	22°	54		6.03		35	
35. Du 7 mai 1862.	16	106	»	17°	50		6.71		44	
40. 23. Du 28 avril 1866.	17	101	30 0/0	24°	52		6.54		38	
35. Du 4 juin 1866.	17	105	»	19°	54		6.95		43	
36. Du 30 avril 1862.	15	91	»	»	58	60	8.03	8.05	49	48
35. Du 19 nov. 1864.	17	98	»	8°	59		7.95		45	
35. Du 4 juin 1866.	17	103	»	19°	63		8.16		50	

Tableau n° 10. — Traction des trains de voyageurs.

$i < 3$ millim. $R \geqq 1000$ mètres. $t > 0°$. Temps calme. $n \leqq 10$.

DÉSIGNATION DU TRAIN.	NOMBRE de wagons.	POIDS BRUT total.	PROPORTION des wagons graissés à l'huile.	TEMPÉRATURE.	VITESSE à l'heure.	MOYENNE des vitesses.	RÉSISTANCE par tonne en palier.	MOYENNE des résistances.	RÉSISTANCE moyenne par voiture.	MOYENNE des résistances.
		tonnes.			kilom.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.
40. 35. Du 24 avril 1866.	8	50	25 0/0	+ 17°	45	46	7.44	7.21	45	44
40. 35. Du 26 avril 1866.	9	56	41 0/0	20°	41		7.27		45	
2. 16. Du 6 juin 1866.	10	58	30 0/0	23°	46		7.56		44	
2. 16. Du 7 juin 1866.	10	62	30 0/0	27°	51		6.59		41	
40. 35. Du 24 avril 1866.	8	50	25 0/0	17°	65	58	9.80	9.57	58	58
40. 32. Du 25 avril 1866.	9	55	33 0/0	15°	60		9.10		55	
2. 16. Du 5 juin 1866.	9	61	10 0/0	23°	61		9.80		60	
33. Du 14 mars 1866.	8	53	»	2°	76	76	14.55	14.55	96	96

Tableau n° 11. — Traction des trains de voyageurs.

Trains à traction difficile pour causes diverses.

DÉSIGNATION DU TRAIN.	NOMBRE de wagons.	POIDS BRUT total.	CIRCONSTANCES ATMOSPHÉRIQUES.	PROPORTION des wagons graissés à l'huile.	VITESSE à l'heure.	RÉSISTANCE CORRIGÉE par tonne.	RÉSISTANCE CORRIGÉE par voiture.	OBSERVATIONS.
		tonnes.			kil.	kil.	kil.	
31. Du 21 déc. 1865.	12	65	T = + 5°.	»	55	11.80	66	Tous les trains du tableau ont réuni les conditions suivantes :
31. Du 21 déc. 1865.	12	65	T = + 5°.	»	48	11.40	66	$i < 3$ millimètres.
32. Du 12 mars 1866.	12	79	Temps sec; un peu de vent. T = + 8°.	33 0/0	51	9.55	63	$R \geqq 1000$ mètres.
32. Du 15 mars 1866.	12	72	id. id. T = + 8°.	25 0/0	43	11.40	68	$t \geqq 0°$.
36. Du 10 déc. 1862.	20	116	Vent, pluie. T = + 7°.	»	43	9.35	54	$n \geqq 10$.
20. Du 3 août 1866.	12	73	Un peu de vent; temps sec. T = + 24°.	42 0/0	45	10.19	61	
40. 35. Du 24 avril 1866.	12	70	Temps sec, vent. T = + 17°.	17 0/0	45	12.21	71	
				Moyennes.	47	10.84	64	

RÉSISTANCE DES TRAINS AU DÉMARRAGE.

Jusqu'à présent, nous avons considéré la résistance des trains en mouvement; mais il est essentiel aussi de connaître la résistance au démarrage.

Au départ, la courbe dynamométrique présente une ordonnée maxima, à laquelle correspond la force maxima que la machine a exercée sur la barre d'attelage pour mettre le train en mouvement.

Les tableaux nos 12 et 13 donnent les résultats d'un grand nombre de démarrages; le tableau no 12 concerne les trains de voyageurs; le tableau no 13 concerne les trains de marchandises.

On voit dans le tableau no 13 que la moyenne des démarrages pour les nombre de trains de marchandises a exigé un effort de 13 kilogrammes par tonne.

L'effort est descendu à 8, et même à 6 kilogrammes par tonne, pour des trains fort longs, de 50 à 60 wagons; le fait s'explique par le démarrage successif de chacun des wagons.

On voit dans le tableau no 12 que la moyenne des démarrages pour les trains de voyageurs a exigé un effort de 22 kilogrammes par tonne, soit 134 kilogrammes par voiture.

Nous ne parlons ici que des démarrages lents, laissant de côté les démarrages brusques, qui exagèrent les efforts.

On peut dire que le démarrage des trains de voyageurs exige un effort par tonne deux fois plus grand environ que le démarrage des trains de marchandises. Cela tient à ce que, dans les premiers, les attelages sont plus serrés, et que la mise en vitesse doit y être plus rapide.

TABLEAU N° 12.

Expériences dynamométriques sur le démarrage des trains de voyageurs.

Nota. La voie est en palier ou inclinée de moins de 1 millimètre.

INDICATION DU TRAIN.		CHARGE BRUTE en tonne.	NOMBRE DE VOITURES.	NOMBRE PROPORTIONNEL de voitures graissées à l'huile.	TEMPÉRATURE.	EFFORT DE DÉMARRAGE			OBSERVATIONS.
						total.	par tonne.	par voiture.	
N°s	Dates.	t		p. 100	degrés		kil.	kil.	
17.	Du 11 avril 1864.	52	10	»	+ 15	1230	24	123	
34.	Du 27 avril 1864.	63	11	»	+ 13	1150	18	104	
35.	Du 17 nov. 1864.	82	14	»	+ 8	2000	24	143	
31.	Du 21 nov. 1864.	85	18	»	+ 8	1920	23	107	
31.	Du 4 mai 1865.	70	12	8	+ 27	1880	26	156	
2.16.	Du 20 juillet 1865.	78	12	»	+ 20	1850	24	154	
1.43.	Du 19 juillet 1865.	64	10	10	+ 17	1140	18	114	Machines à roues
2.43.	Du 19 juillet 1865.	83	13	»	+ 17	1580	19	121	libres.
2.16.	Du 21 juillet 1865.	97	15	7	+ 25	1960	20	130	
2.43.	Du 21 juillet 1865.	77	13	15	+ 20	1810	24	139	
1.38.	Du 21 juillet 1865.	40	7	»	»	1160	29	166	Machines à roues
31.	Du 21 déc. 1865.	73	14	»	+ 5	2150	29	153	libres.
32.	Du 12 mars 1866.	79	12	33	+ 8	1840	23	153	
33.	Du 13 mars 1866.	52	8	»	+ 6	1080	21	135	Machines à roues
32.	Du 13 mars 1866.	88	14	28	+ 7	1730	20	124	libres.
33.	Du 14 mars 1866.	53	8	»	+ 2	1090	21	136	Machines à roues
32.	Du 14 mars 1866.	78	12	25	+ 6	1280	16	106	libres.
33.	Du 15 mars 1866.	52	8	»	+ 2	1350	26	169	Machines à roues
32.	Du 15 mars 1866.	72	12	25	+ 8	1900	26	158	libres.
40.35.	Du 24 avril 1866.	70	12	16	+ 17	1700	24	141	
40.32.	Du 25 avril 1866.	55	9	33	+ 15	1320	24	147	
40.35.	Du 26 avril 1866.	56	9	44	+ 20	1200	21	133	
40.34.	Du 27 avril 1866.	81	14	20	+ 26	2100	26	150	
40.23.	Du 28 avril 1866.	101	17	30	+ 24	1800	18	105	
41.26.	Du 28 avril 1866.	67	11	»	+ 20	1320	20	120	
40.26.	Du 28 avril 1866.	101	17	30	+ 20	1630	16	97	
35.	Du 4 juin 1866.	105	17	»	+ 19	1630	16	97	
2.13.	Du 5 juin 1866.	49	9	11	+ 20	1500	30	166	
2.16.	Du 5 juin 1866.	61	10	10	+ 23	1700	28	170	
2.43.	Du 6 juin 1866.	68	11	9	+ 18	1430	21	130	
2.16.	Du 6 juin 1866.	58	10	30	+ 23	1330	23	133	
1.16.	Du 7 juin 1866.	53	10	10	+ 25	1730	33	175	Machines à roues
14.	Du 8 juin 1866.	107	17	17	+ 25	2000	17	117	libres.
					Moyenne génér.		22	134	

TABLEAU N° 13.

Expériences dynamométriques sur le démarrage des trains de marchandises.

NOTA. La voie est en palier ou inclinée de moins de 1 millimètre.

DÉSIGNATION DU TRAIN.		CHARGE BRUTE en tonnes.	NOMBRE de wagons.	NOMBRE proportionnel de wagons graissés à l'huile.	TEMPÉRATURE	EFFORT DE DÉMARRAGE total.	EFFORT DE DÉMARRAGE par tonne.	OBSERVATIONS.
Nos	Dates.	t.		p. 100	degrés	kil.	kil.	
91.	Du 17 mars 1864.	160	23	»	+ 2	2800	11	
78.	Du 17 mars 1864.	478	47	»	+ 15	5220	11	Doublu traction.
88.	Du 18 mars 1864.	241	29	»	+ 12	3270	11	
89.	Du 18 mars 1864.	264	38	8	+ 11	3560	13	
83.	Du 6 avril 1864.	302	51	»	•	4020	13	
81.	Du 11 avril 1864.	254	43	5	+ 12	3880	15	
78.	Du 12 avril 1864.	300	28	3	+ 12	3740	13	
91.	Du 13 avril 1864.	338	40	»	+ 7	3550	10	
78.	Du 13 avril 1864.	534	55	»	+ 19	6600	12	Double traclion.
89.	Du 14 avril 1864.	267	48	9	+ 8	3720	14	
88.	Du 14 avril 1864.	322	38	»	+ 19	4620	14	
40. 69.	Du 28 avril 1864.	278	35	8	+ 20	3340	12	
66.	Du 15 avril 1864.	264	29	»	+ 20	3500	13	
40. 62.	Du 28 avril 1864.	511	60	»	+ 18	3160	6	Double traclion.
40. 69.	Du 29 avril 1864.	184	31	»	•	3090	17	
81.	Du 17 juin 1864.	336	55	»	+ 21	4400	13	
1. 67.	Du 20 juin 1864.	334	46	11	•	5550	17	
1. 68.	Du 20 juin 1864.	245	32	8	•	3060	12	
1. 68.	Du 21 juin 1864.	304	33	15	•	3750	12	
1. 64.	Du 22 juin 1864.	298	45	»	•	4800	16	
1. 67.	Du 6 juill. 1864	269	41	12	+ 16	3040	11	
1. 70.	Du 7 juill. 1864.	362	30	13	•	4100	15	
1. 68.	Du 8 juill. 1864.	295	29	6	•	4340	14	
1. 67.	Du 26 juill. 1864.	170	28	15	•	3020	18	
75.	Du 31 août 1864.	297	41	7	+ 20	2880	10	
66.	Du 31 août 1864.	332	34	25	•	3150	10	
81.	Du 1er sept. 1864.	315	52	7	+ 25	2620	8	Machine type n° 20.
75.	Du 13 févr. 1865.	175	38	25	— 3	2390	14	
61.	Du 14 févr. 1865.	206	39	10	— 3	2540	12	
78.	Du 14 févr. 1865.	185	22	10	— 1	3060	16	
2. 65.	Du 20 juillet 1865.	255	35	20	+ 20	3250	13	
2. 65.	Du 21 juillet 1865.	259	39	30	+ 25	3440	13	
74.	Du 9 janv. 1867.	370	41	»	•	4080	11	
1. 64.	Du 14 janv. 1867.	204	21	»	•	3620	18	
						Moyenne génér.	13	

DEUXIÈME PARTIE.

ANALYSE DES RÉSISTANCES DIVERSES DES MACHINES.

En ce qui concerne les machines, une série d'expériences a été entreprise pour mesurer séparément la part de résistance due :

1° Au roulement des machines considérées comme véhicules;

2° Au frottement de l'accouplement;

3° Au frottement des pistons, glissières, bielles motrices.

Pour cela, la machine à essayer, en feu et graissée, était remorquée *sans tender* derrière le wagon dynamomètre.

Le tableau n° 14 donne le résultat des expériences.

1° Pour une machine mixte toute montée (sans tender) :

$$V = 28^{km}, \quad f = 9^{k},60\,;$$

pour une machine à marchandises (sans tender) toute montée :

$$V = 28^{k}, \quad f = 12^{k},20.$$

2° Il est impossible de tirer aucune conclusion sur la réduction de résistance due à la suppression de l'accouplement; et, en effet, nous voyons que plusieurs fois la résistance a été plus grande quand l'accouplement avait été supprimé qu'avec la machine toute montée. Il y avait probablement là une raison de graissage. D'ailleurs, nous ne pouvions nous attendre à trouver une influence bien grande à l'accouplement, parce qu'on opérait en alignement, et que les bandages étaient bien ronds.

3° Quant à l'influence des pistons, bielles motrices et glissières, elle est bien accusée.

Pour les machines mixtes ou à marchandises, la résistance des pistons, bielles motrices et glissières est égale environ à 48 pour 100 de la résistance totale de la machine toute montée.

Les pistons de la Compagnie de l'Est sont du type dit *suédois;* le serrage donné aux segments est de $8^{m}/_{m}$ sur le diamètre.

Les résultats que nous venons de citer ne concernent que des machines roulant sans traîner. Si la machine fait un travail de traction, ses organes sont soumis à des pressions toutes différentes, et les diverses résistances ne sont plus les mêmes que si la machine roule à vide. (Voir notes D et H.)

Nous tirons encore du tableau n° 11 une conséquence importante : c'est la résistance des machines réduites à l'état de véhicules, après la suppression des bielles motrices et d'accouplement. Cette résistance est en moyenne de 5k,22 pour les machines mixtes à la vitesse de 28 à 35 kilomètres, et 6k,15 pour les machines à marchandises à la vitesse de 24 à 27 kilomètres.

Pour les machines à quatre essieux couplés (démontées), à la vitesse de 6 à 10 kilomètres, nous avons trouvé $f = 11^k,00$.

Dans ce genre de machine, la résistance due au mécanisme est aussi égale à environ la moitié de la résistance totale. Ces puissantes machines à petite vitesse ont des résistances propres bien supérieures à celles des autres machines. Cela tient à ce qu'il y a plus de surfaces frottantes dans le mécanisme, des organes plus lourds et des roues plus petites.

CAUSES QUI PEUVENT FAIRE VARIER LES COEFFICIENTS DE RÉSISTANCE DES WAGONS.

De même que pour les machines, nous avons étudié pour les wagons ou voitures les différentes causes qui peuvent faire varier les coefficients de résistance.

En palier et en ligne droite, ces résistances se composent de deux éléments (abstraction faite des circonstances climatériques) :

1° Les frottements des roues;

2° La résistance due à l'air atmosphérique.

Si on opère à des vitesses très-faibles, le deuxième élément disparaît naturellement.

Faisant donc abstraction des résistances dues à l'air atmosphérique, nous avons étudié l'influence du graissage, du diamètre des fusées et de l'étendue des surfaces sur les frottements.

Appelant R la résistance d'un véhicule,
p son poids, moins les roues,
p' poids des roues,
d diamètre des fusées,
D diamètre des roues,
f' coefficient de roulement à la jante,
f'' coefficient de frottement de la fusée sur le coussinet,

on a :

$$\text{(E)} \qquad R = (p + p')f' + pf'' \times \frac{d}{D}.$$

Tableau n° 14. — Expériences dynamométriques sur la résistance des machines en mouvement

(sans le tender).

TYPE DE MACHINE.	NUMÉRO de la machine.	POIDS de la machine.	ÉTAT DU MÉCANISME.	Nombre de kilomètres expérimentés.	Vitesse à l'heure.	RÉSISTANCE moyenne totale.	RÉSISTANCE moyenne par tonne.	Fraction dont la résistance diminue lorsque le mécanisme est démonté.	OBSERVATIONS.
		kilog.			kilom.	kilog.	kilog.	pour 100.	
MIXTES, TYPE 14. 4 roues couplées. D = 1m68.	247	31.300	Chaude, toute montée.	6	27	300	9.58	»	
			Bielles motrices démontées.	6	26	135	4.32	55	
		30.700	— d'accouplement démontées. . .	8	32	267	8.69	11	
			— motrices et d'accoupl. démont.	5	28	139	4.52	54	
		31.300	Chaude, toute montée	5	44	319	10.19	»	
			Bielles motrices démontées	7	38	141	4.50	56	
		30.700	— d'accouplement démontées. . .	6	44	326	10.61	»	
			— motrices et d'accoupl. démont.	5	35	159	5.18	50	
	249	31.700	Chaude, toute montée	5	30	305	9.63	»	
			Bielles motrices démontées	5	26	182	5.70	40	
		31.400	— d'accouplement démontées. . .	13	30	456	14.60	»	Machine refroidie, graissage imparfait.
			— motrices et d'accoupl. démont.	5	28	176	5.60	42	
		31.700	Chaude, toute montée	7	45	374	11.80	»	
			Bielles motrices démontées	5	36	193	6.09	48	
		31.400	— motrices et d'accoupl. démont.	4	45	207	6.58	44	
MACHINES A MARCHANDISES. 6 roues couplées. Type n° 15. D = 1m300.	0.123	29.700	Chaude, toute montée.	12	27	370	12.40	»	
			Bielles motrices démontées	12	27	192	6.46	48	
			— d'accouplement démontées. . .	12	26	405	13.60	»	Machine refroidie, graissage imparfait.
			— motrices et d'accoupl. démont.	12	27	190	6.35	48	
	0.154	30.000	Chaude, toute montée	12	29	360	12.00	»	
			Bielles motrices démontées.	10	27	200	6.66	44	
			— d'accouplement démontées. . .	13	27	324	10.80	40	
			— motrices et d'accoupl. démont.	10	24	179	5.96	50	

FROTTEMENT DANS UNE BOITE A HUILE.

Dans le tableau de la page 6, nous avons trouvé pour un wagon à caisse, graissé à l'huile, une résistance moyenne $R = 11$ kilogrammes ($p + p' = 5500$ kilog.), à une vitesse de 1 à 5 kilomètres. A cette vitesse, la résistance de l'air est négligeable, et on peut poser

$$(E) \qquad 11 = 5500 \times 0.001 + 3900 \times 0{,}075\, f''.$$

(Dans lo matériel de l'Est, $D = 1^m$, $d = 0^m{,}075$, et on admet que $f' = 0{,}001$, d'après Wood.)

On tire de (E)

$$f'' = 0{,}018.$$

Tel est le coefficient de frottement dans une boîte à huile à graissage continu, pour une petite vitesse.

FROTTEMENT DANS UNE BOITE A GRAISSE.

D'après des expériences spéciales faites, en 1862, au chemin de fer de l'Est, le rapport entre la traction d'un wagon graissé à la graisse et celle d'un wagon graissé à l'huile est de 1.35 en moyenne.

L'équation (E) devient :

$$11 \times 1{,}35 = 5500 \times 0{,}001 + 3900 \times 0{,}075 \times f'';$$

d'où l'on tire

$$f'' = 0{,}032.$$

FROTTEMENT DANS LES BOITES D'UN TRAIN.

Prenant dans nos expériences des trains composés en grande partie de wagons graissés à l'huile et marchant à des vitesses ne dépassant pas 20 kilomètres, nous trouvons les résultats suivants :

$$(f' = 0{,}001).$$

Essai n°	189	$f = 2^k{,}7$	d'où	$f'' = 0{,}026$
»	188	$f = 2{,}4$	»	$f'' = 0{,}021$
»	166	$f = 2{,}7$	»	$f'' = 0{,}026$
»	167	$f = 2{,}6$	»	$f'' = 0{,}025$
»	169	$f = 2{,}3$	»	$f'' = 0{,}020$
»	172	$f = 2{,}2$	»	$f'' = 0{,}019$

Pour un train n'ayant que 10 pour 100 de wagons graissés à l'huile, on a :

Essai n° 99 $f = 3^k.1$ d'où $f'' = 0,034$.

f'' frottement à la fusée est calculé au moyen de l'équation [E] ; où $R = f \times C$; C étant le poids brut par wagon exprimé en tonnes.

Les valeurs trouvées pour f'' concordent assez bien entre elles. (Voir le tableau n° 15.)

INFLUENCE DE LA CHARGE SUR LE FROTTEMENT DES FUSÉES.

Le poids brut moyen des wagons a été très-différent dans nos expériences, les coefficients f'' ont peu différé avec ces poids : on doit en conclure que le frottement des fusées est indépendant de la charge tant qu'on n'atteint pas la limite du grippage et tant qu'on est à l'abri de l'influence de l'atmosphère et des courbes.

FROTTEMENT DANS LES BOITES D'UN TENDER.

Pour un tender pesant 19,000 kilogrammes, à la vitesse de 25 à 30 kilomètres, nous avons trouvé $f'' = 0,043$. (*Boîtes à graisse.*)

FROTTEMENT DANS LES BOITES D'UNE MACHINE.

Pour une machine type 14 et 15 pesant 30,000 kilogrammes, à la vitesse de 25 à 30 kilomètres, on a $f'' = 0,052$. (*Graissage à l'huile et mécanisme démonté.*)

PRESSION PAR CENTIMÈTRE CARRÉ DE SURFACE FROTTANTE.

D'après les chiffres ci-dessus, si nous calculons la pression par centimètre carré de surface frottante, nous trouvons :

Pour les wagons chargés à 10 tonnes.	$17^k,90$
Pour les machines.	13 ,20
Pour le wagon chargé à 5 tonnes.	11 ,90

INFLUENCE DE L'ÉTENDUE DES SURFACES SUR LE FROTTEMENT DES FUSÉES.

La surface moyenne frottante dans les wagons est par fusée de

Tableau n° 15. — Calcul des frottements des fusées de wagons.

$R \geqq 1000^m$. — $T > 10°$; pas de vent.

NUMÉRO DE L'EXPÉRIENCE.	PROPORTION des wagons graissés à l'huile.	VITESSE à l'heure.	COEFFICIENT de frottement total.	COEFFICIENT de frottement des fusées.	POIDS BRUT par véhicule.	OBSERVATIONS.
	pour 100.	kilomètres.			kilogrammes.	
N° 3. Tableau I.	»	19	0.0031	0.035	8250	Le coefficient de frottement des fusées est déduit du coefficient du frottement total, comme il est expliqué dans le texte.
10. — I.	»	20	0.0031	0.032	10700	
40. — II.	»	25	0.0031	0.033	10900	
42. — »	»	31	0.0029	0.030	10730	
59. — »	»	33	0.0034	0.038	10300	
99. — III.	»	22	0.0031	0.034	9420	
100. — »	8	23	0.0030	0.033	7950	
102. — »	»	26	0.0032	0.036	8480	
103. — »	»	17	0.0028	0.033	5940	
105. — »	»	17	0.0032	0.039	6120	
106. — »	»	10	0.0029	0.035	6030	
115. — IV.	»	19	0.0031	0.036	6280	
139. — »	»	15	0.0033	0.038	7900	
150. — »	11	17	0.0031	0.033	9750	
152. — »	11	19	0.0026	0·026	9420	
154. — V.	7	15	0.0031	0.037	6300	
156. — »	7	16	0.0031	0.038	5920	
163. — »	20	15	0.0031	0.036	7250	
	Moyennes.....	20	0.0031	0.035	»	

188 c.m.q.; dans les machines (type 14 et 15), elle est de 452 c.m.q. Il y a donc ici grande dissemblance entre les wagons et les machines.

Or, pour les wagons, nous avons trouvé. . . . . $f'' = 0{,}018$,
pour les machines. . . . . $f'' = 0{,}053$.

Le rapport de ces coefficients donne $\frac{18}{53} = 0{,}33$.

On obtient sensiblement la même valeur en prenant le rapport des surfaces élevées à la puissance $\frac{1}{2}$.

Il y a donc toujours avantage, au point de vue de la traction, à réduire la surface frottante à son minimum : mais avant tout, il est nécessaire de construire des essieux avec des fusées suffisantes pour éviter le grippage et ne pas rompre sous la charge.

Cette double considération, réduction des dimensions et résistance des fusées, a fait construire des essieux en acier fondu.

Les résultats obtenus n'ont pas été satisfaisants; l'acier fondu est cassant : on aura sans doute avantage à se servir de l'acier Bessemer, qui est plus doux que l'acier fondu et plus résistant que le fer.

Les principes que nous venons d'énoncer sont observés dans la construction des équipages de luxe, dans lesquels on réduit le diamètre des fusées jusqu'à 27 m/m.

FROTTEMENT DES FUSÉES DE WAGONS AU DÉMARRAGE.

Nous avons vu, page 6, que, pour un wagon graissé à l'huile, la résistance au démarrage était de 48 kilogrammes (8k,70 par tonne).

L'équation nous donne alors $f'' = 0{,}145$ pour le frottement des fusées au départ.

Nos expériences (tableau n° 13) nous ont montré que ce coefficient est à peu près le même pour le graissage à la graisse : tant que le train n'a pas roulé une cinquantaine de mètres, l'avantage de l'huile est moins marqué qu'en pleine marche, surtout si les températures sont très-supérieures à 0°. Cela tient probablement à la fluidité de l'huile qui abandonne en partie les surfaces frottantes pendant les stationnements.

INFLUENCE DE LA TEMPÉRATURE SUR LES RÉSISTANCES.

Avec des trains graissés à l'huile, l'influence de la température est inappréciable. L'avantage de l'huile sur la graisse, que nous avons cité page 36, doit s'appliquer à une température moyenne; en hiver, cet avantage est plus considérable.

L'addition d'une petite quantité d'huile de pétrole à l'huile ordinaire permet d'atteindre, sans qu'il y ait congélation, les plus basses températures qui puissent se rencontrer dans nos climats.

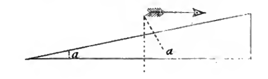
Le tableau n° 16 montre l'influence de la température sur la résistance des trains lubréfiés à la graisse : il divise en deux séries des trains ne contenant environ que 10 pour 100 de boîtes à l'huile et présentant les mêmes circonstances de voie, de chargement et de vitesse, par un temps calme.

1re série. Température de 0° à — 3°. . . . . . $f = 5,22$
2e série. Température de 15° à 20°. . . . . . . $f = 3,47$

Il y a augmentation de 50 pour 100 pour les basses températures.

INFLUENCE DES RAMPES SUR LES RÉSISTANCES.

L'équation (E) suppose qu'on opère en ligne droite et en palier : pour une voie en rampe, faisant un angle α avec l'horizon, elle devient :



$$R = \cos\alpha \left((p + p') f' + pf'' \frac{d}{D}\right) + (p + p') \sin\alpha.$$

Dans les limites des rampes existant sur les chemins de fer, $\cos\alpha$ est fort peu différent de l'unité, et $\sin\alpha$ peut être remplacé par *tang* α.

Appelant i la valeur de *tang* α en millimètres, on a pour la résistance d'un wagon en ligne droite et en rampe :

(F) $$R = (p + p') f' + pf'' \frac{d}{D} + (p + p') i,$$

ou $$R = (p + p') f + (p + p') i.$$

D'après des expériences anciennes, on a trouvé que la résistance R présentait une réduction considérable sur la valeur donnée par l'équation (F). Les résultats de nos travaux permettent d'assurer que cette équation est parfaitement rigoureuse.

Les expériences groupées dans le tableau n° 17 le démontrent. Les trains qui y sont portés ont été faits dans les mêmes conditions de chargement, de graissage, de courbure de la voie et d'atmosphère.

Tableau n° 16. — Influence de la gelée sur la traction.

Vent peu sensible. — Vitesse : 25 kilomètres à l'heure.

NUMÉRO de l'expérience.	PROPORTION des wagons graissés à l'huile.	TEMPÉRATURE.	RAYON MINIMUM des courbes.	POIDS BRUT par véhicule.	VITESSE à l'heure	COEFFICIENT de traction.	OBSERVATIONS.
	pour 100.	degrés.	mètres.	kilog.	kilom.	kilog.	
36	3	— 2	1.500	6.730	25	4.88	On voit que les deux séries de trains ci-jointes sont bien comparables pour toutes les conditions autres que celles de température.
37	3	— 1	1.000	6.850	27	5.37	
43	environ 10	— 3	alignement	7 600	26	4.60	
44	— 10	— 3	1.500	7.600	25	4.76	
45	— 10	— 2	1.000	7.600	25	5.23	
160	10	— 3	alignement	5.280	26	6.40	
Moyennes . . .	. . . .	. . . .	. . . .	6.940	26	5.22	
100	8	+ 20	1.200	7.950	23	3.04	
115	environ 10	au moins 15	au moins 1.000	6.280	19	3.12	
140	— 10	+ 15	alignement	7.920	23	3.76	
144	7	+ 20	2.000	7.280	27	3.83	
114	environ 10	au moins 15	au moins 1.000	6.350	26	3.70	
146	7	+ 20	1.000	6.820	30	3.41	
Moyennes . . .	. . . .	. . . .	. . . .	7.100	25	3.47	

TABLEAU N° 17.

1re série. Inclinaison moyenne :	$4^{mil},46$;	on a :	$f = 3,48$
2e série. »	4 ,44;	»	$f = 2,97$
3e série. »	9 ,50;	»	$f = 3,25$.

La valeur de f a été calculée par les équations (F), R étant donné par l'expérience; on voit que le coefficient de résistance ne diminue pas quand l'inclinaison de la rampe augmente.

4e série. Inclinaison moyenne :	$5^{mil},18$;	on a :	$f = 3,39$
5e série. »	9 ,25;	»	$f = 3,96$.

On trouve plutôt une augmentation pour la rampe la plus forte.

6e série. Inclinaison moyenne :	16 ,79;	on a :	$f = 2,56$
7e série. »	$2^{mil},05$;	»	$f = 3,40$.

Mais ici il faut remarquer que les trains de la 7e série renfermaient moins de boîtes à l'huile, qu'ils étaient d'une longueur double et qu'ils allaient deux fois plus vite que ceux de la 6e série.

Les résultats du tableau n° 17 concordent bien entre eux.

On peut donc conclure que, sur une rampe, le coefficient de résistance par tonne s'obtient en ajoutant au coefficient sur palier, obtenu dans les mêmes circonstances, autant de kilogrammes qu'il y a de millièmes dans l'inclinaison de cette rampe. (Voir les *profils*, Pl. VI, VII et VIII[1].)

Cette loi est rigoureusement vraie, et si les conclusions de quelques expérimentateurs lui ont été contraires, c'est probablement que ceux-ci n'ont pas opéré dans des conditions identiques de vitesse et de longueur de train.

1. Les lignes autres que la ligne principale de Paris à Strasbourg sont désignés par des indices (lettres ou chiffres).

La ligne	Paris-Mulhouse	a l'indice	40.
—	Épernon-Reims	id.	1.
—	Blesme-Chaumont	id.	10.
—	Nancy-Forbach	id.	12.
—	Soissons-Givet	id.	2.
—	Reims-Laon	id.	3.
—	Luxembourg-Spa	id.	E.

Quand dans nos expériences nous parlons du train (E) 71, cela veut donc dire que c'est un train fait entre Luxembourg et Spa.

Tableau nº 17. — Influence des rampes sur le coefficient de résistance.

Vitesse 15 à 25 kilomètres à l'heure. — Vent peu sensible.

NUMÉROS de l'expérience.	INCLINAISON de la rampe.	RAYON des courbes.	VITESSE à l'heure.	NOMBRE de wagons.	PROPORTION des wagons graissés à l'huile	EFFORT par tonne absolu.	EFFORT par tonne corrigé.	OBSERVATIONS.
	millim.	mètres	kil.		pour 100	kil.	kil.	
105	0.43	1000	17	55	»	3.65	3.22	
150	2.50	—	17	34	11	5.64	3.14	Première série.
Moyenne. .	1.46	1000	17	44	»	4.64	6.18	
154	3.50	1000	15	51	7	6.65	3.15	
152	6.50	—	19	32	11	6.15	2.65	
3	6.00	—	19	26	»	6.10	3.10	
103	5.70	—	17	31	»	6.55	2.85	Deuxième série.
106	3.50	—	10	54	»	6.45	2.95	
115	4.50	—	19	49	»	7.62	6.12	
Moyenne. .	4.44	1006	16	41	»	7.47	2.67	
169	9.00	1600	15	40	»	12.35	3.65	
163	10.00	—	15	35	20	13.15	3.15	Troisième série.
Moyenne. .	9.50	1000	15	36	»	12.75	3 25	
111	6.70	700 à 600	20	36	8	6.87	4.17	
113	5.66	—	17	32	8	10.13	4.47	
134	5.70	—	15	35	6	9.44	6.74	
138	5.66	—	20	31	»	9.00	3.34	
165	4.42	—	17	38	76	7.65	3.23	
167	5.00	—	13	38	70	7.56	2.56	Quatrième série.
166	4.64	—	19	35	50	7.85	6.01	
176	4.80	—	17	44	36	7.55	2.75	
161	5.00	—	16	40	30	6.56	6.56	
177	5.00	—	16	44	36	8.05	6.05	
Moyenne. .	5.16	700 à 600	17	37	»	6.57	3.39	
107	6.25	700 à 600	20	46	11	13.45	4.20	
137	9.25	—	15	26	18	13.72	4.47	
184-185	6.25	—	16	33	42	12.47	3.22	Cinquième série.
Moyenne. .	6.25	700 à 600	17	36	»	13.21	3.96	
186	15.00	400 à 600	16	12	66	17.60	2.60	
187	16.89	—	12	12	66	19.42	2.53	
188	19.80	—	10	12	66	22.18	2.38	Sixième série.
189	15.50	—	17	16	100	16.21	2.74	
Moyenne. .	16.79	400 à 600	14	13	74	19.35	2.56	
123	2.40	400 à 600	25	30	16	5.56	6.18	
124	1.40	—	29	60	13	5.23	6.83	
125	6.50	—	21	30	13	7.10	3.60	Septième série.
126	0.90	—	61	30	13	6.90	3.00	
Moyenne. .	2.05	400 à 600	26	30	13	5.45	3.40	

INFLUENCE DE LA LONGUEUR DES TRAINS SUR LES RÉSISTANCES.

Dans les trains de voyageurs, marchant à des vitesses supérieures à 40 kilomètres, un grand élément de la résistance totale des voitures est la résistance de l'air. L'action de l'air est plus grande sur la première voiture que sur toutes les autres; la résistance par voiture doit donc diminuer avec le nombre de voitures. C'est ce qu'on vérifie dans les tableaux 9 et 10. (Voir pages 28 et 29.)

Si les rayons des courbes d'une ligne descendaient beaucoup au-dessous de 1000 mètres, cette loi ne serait plus exacte, parce que l'influence de l'air s'effacerait devant celle des courbes.

Quant aux trains de marchandises, la longueur peut varier entre des limites bien plus étendues que pour les trains de voyageurs. En alignement ou en courbe de très-grand rayon, la longueur n'a pas d'influence, et, en effet, nous avons trouvé de très-faibles coefficients pour des trains de 50 à 60 wagons. Mais si le rayon des courbes descend à 1000 mètres, l'accroissement de la longueur produit un accroissement de résistance. Il ne s'agit plus ici seulement de la résistance de l'air, parce que la vitesse est faible et les wagons en partie plats; mais il y a des frottements supplémentaires aux jantes, parce que la direction de la force de traction ne coïncide plus avec l'axe des wagons.

Comme exemple, nous citerons les chiffres relevés dans le trajet du poteau 172 au poteau 185 (et *vice versâ*, de la ligne Paris-Strasbourg), trajet qui présente des courbes multipliées dont le rayon descend à 1000 mètres. Dans cette section, les trains de 35 à 50 wagons ont demandé en moyenne 1 kilogramme par tonne d'effort de traction, en sus de l'effort exigé par les trains ayant de 25 à 30 wagons.

INFLUENCE DES COURBES SUR LES RÉSISTANCES.

La largeur normale de la voie des chemins de fer de l'Est est fixée à $1^m,447$ entre les bords intérieurs des champignons. Un essieu de wagon peut y parcourir une voie en courbe d'un rayon minimum de 444 mètres sans qu'il y ait glissement ni frottement des boudins[1].

Pour les trains de voyageurs composés de 10 à 20 voitures et marchant à des vitesses de 35 à 50 kilomètres, il nous a été impossible de trouver une influence. Nous n'avons, il est vrai, opéré que dans des courbes

1. Le rail extérieur reçoit dans les courbes un surhaussement calculé, d'après les vitesses mêmes inscrites aux livrets de la marche des trains.

dont les rayons minima étaient de 800 mètres. A des vitesses supérieures à 50 kilomètres, l'influence des courbes se fait sentir : elle est de 5 pour 100 dans le train 31 du 21 décembre. (Tableau n° VIII, essais 60 et 61.)

Le tableau n° 18 montre l'influence des courbes sur les trains de marchandises.

La vitesse moyenne (20 à 30 kilomètres) et le nombre moyen de véhicules (26 à 56) ont été à peu près les mêmes pour les différents trains.

Voici les résultats que nous en tirons :

1° Quand la longueur des courbes rencontrées dans une section est inférieure à 20 pour 100. . . . . $f = 4^k,43$.

2° Quand la longueur des courbes rencontrées dans une section est comprise entre 20 et 50 pour 100. . . . . $f = 4,76$.

3° Quand la longueur des courbes rencontrées dans une section est supérieure à 50 pour 100 . . . . $f = 5,12$.

Nota. Les courbes d'un rayon supérieur à 2000 mètres ont été comptées comme aligucment : les rayons des autres courbes ont été de 1000 à 2000 mètres.

Les courbes même de grand rayon ont donc une influence sensible sur les trains de marchandises.

Nos expériences nous ont montré que si on désigne par f le coefficient de résistance par tonne en alignement,

Le coefficient en courbe de 1000 mètres sera. . . . $f + 1$
» » de 800 » . . . . $f + 1,50$.

INFLUENCE DE L'ÉTAT DE LA VOIE SUR LES RÉSISTANCES.

La plupart des voies sur lesquelles ont roulé les trains d'expérience sont éclissées, la longueur des rails est de 6 mètres.

Lorsque l'état de la voie n'est pas bon, lorsque, par exemple, on approche de l'époque d'une réfection, il en résulte pour les trains des secousses plus ou moins violentes, suivant les vitesses de la marche.

Ce cas s'est rencontré pour les trains express n° 33, du 13 au 16 mars 1865. La voie était mauvaise du poteau 96 au poteau 115. Comparons les efforts et les vitesses dans cette section aux efforts et aux vitesses trouvés dans une section voisine en bon état, offrant les mêmes conditions de courbes, du poteau 74 au poteau 84.

Nous trouvons pour la voie mauvaise :

1° Train 33, du 13 mars, pour $V = 67^k$. . . . $f = 112^k$
2° » du 14 mars, pour $V = 59^k$. . . . $f = 100^k$
3° » du 15 mars, pour $V = 67^k$. . . . $f = 125^k$

Moyenne. . . . . $V = 64^k$ et $f = 112^k$ par voiture.

Tableau n° 18. — Influence des courbes sur le tirage.

DÉSIGNATION des trains.	DÉSIGNATION des sections.	VITESSE à l'heure.	NOMBRE de véhicules.	COEFFICIENT de traction.	OBSERVATIONS.
		kilom.		kilogr.	
64. Du 19 mars 1863.	Poteau 140 à 129.	27	29	4.28	Le parcours en courbe est inférieur à 20 0/0 du parcours total.
85. Du 27 février 1863.	— 148 à 166.	25	37	4.88	
85. Du 27 février 1863.	— 191 à 198.	28	41	5.33	
62. Du 27 février 1863.	— 169 1/2 à 165.	26	30	3.65	
62. Du 27 février 1863.	— 153 à 149.	28	30	2.63	
85. Du 22 février 1863.	— 150 à 161 1/2.	26	37	4.78	
85. Du 22 février 1863.	— 189 à 198 1/2.	25	37	4.88	
78. Du 17 mars 1864.	— 203 1/2 à 199.	29	47	4.82	
78. Du 17 mars 1864.	— 199 à 190 1/2.	29	47	4.68	
80. Du 19 mars 1864.	— 139 à 135.	25	30	4.27	
89. Du 18 mars 1864.	— 148 à 154.	29	38	4.78	
89. Du 18 mars 1864.	— 154 à 161.	27	38	4.85	
88. Du 18 mars 1864.	— 204 à 199.	26	26	4.84	
83. Du 6 avril 1864.	— 57 à 62.	26	44	4.93	
81. Du 11 avril 1864.	— 120 à 134.	26	43	5.68	
78. Du 13 avril 1864.	— 197 à 193.	23	55	4.15	
88. Du 14 avril 1864.	— 203 à 199.	26	35	4.27	
88. Du 14 avril 1864.	— 199 à 191.	26	35	4.43	
88. Du 14 avril 1864.	— 169 à 157.	26	38	4.63	
40.69. Du 29 avril 1864.	— 28 1/2 à 31.	25	31	4.21	
75. Du 31 août 1864.	— 9 1/2 à 14.	22	42	3.73	
75. Du 31 août 1864.	— 23 1/2 à 26 1/2.	27	42	3.83	
66. Du 31 août 1864.	— 41 1/2 à 39.	28	31	3.67	
66. Du 31 août 1864.	— 25 1/2 à 23 1/2.	29	32	4.12	
	Moyennes	26	37	4.43	
85. Du 26 nov. 1862.	Poteau 70 à 78.	30	33	6.04	Le parcours en courbe est compris entre 20 0/0 et 50 0/0 du parcours total.
85. Du 26 nov. 1862	— 86 à 91.	28	33	5.73	
77. Du 6 déc. 1862.	— 67 à 78.	26	28	5.84	
77. Du 6 déc. 1862.	— 89 à 94.	29	28	5.46	
64. Du 19 mars 1863.	— 124 à 118.	28	29	3.98	
64. Du 19 mars 1863.	— 113 à 109.	27	29	4.18	
85. Du 17 février 1863.	— 176 à 180.	25	39	5.56	
85. Du 17 février 1863.	— 180 à 187.	27	39	5.41	
62. Du 27 février 1863.	— 185 à 177.	25	28	3.14	
62. Du 27 février 1863.	— 164 à 159.	29	30	3.35	

Tableau n° 18. — Influence des courbes sur le tirage. *(Suite.)*

DÉSIGNATION des trains.	DÉSIGNATION des sections.	VITESSE à l'heure.	NOMBRE de véhicules.	COEFFICIENT de traction.	OBSERVATIONS.
suite.	suite.	suite. kilom.	suite.	suite. kilogr.	suite.
85. Du 27 février 1863.	Poteau 163 à 170.	25	37	4.87	Le parcours en courbe est compris entre 20 0/0 et 50 0/0 du parcours total.
85. Du 27 février 1863.	— 176 à 184 1/2.	24	37	5.23	
83. Du 16 mars 1864.	— 66 1/2 à 72.	22	29	4.95	
83. Du 16 mars 1864.	— 72 à 78.	24	29	5.00	
80. Du 19 mars 1864.	— 122 à 117.	29	30	4.23	
80. Du 19 mars 1864.	— 115 à 110.	27	30	4.55	
81. Du 11 avril 1864.	— 86 à 91.	28	43	5.37	
81. Du 11 avril 1864.	— 110 à 115 1/2.	26	43	5.21	
66. Du 7 avril 1864.	— 73 à 67.	25	34	4.46	
66. Du 7 avril 1864.	— 61 à 65.	23	34	4.65	
88. Du 14 avril 1864.	— 182 à 176.	25	35	4.48	
75. Du 31 août 1864.	— 57 à 61.	21	41	4.54	
66. Du 31 août 1864.	— 62 à 56 1/2.	25	34	4.03	
81. Du 1er sept. 1864.	— 57 à 60.	28	43	4.03	
	Moyennes.	25	34	4.76	
85. Du 26 nov. 1862.	Poteau. 67 à 70.	26	33	6.12	Le parcours en courbe est plus grand que 50 0/0 du parcours total.
85. Du 26 nov. 1862.	— 80 à 83.	30	33	6.02	
85. Du 26 nov. 1862.	— 103 à 113.	28	33	5.60	
77. Du 6 déc. 1862.	— 103 à 109.	24	28	5.80	
64. Du 19 mars 1863.	— 104 à 95.	30	29	3.59	
83. Du 16 mars 1864.	— 79 à 83.	26	29	5.20	
89. Du 18 mars 1864.	— 176 1/2 à 182 1/2.	20	38	5.72	
83. Du 6 avril 1864.	— 69 à 76.	25	41	5.30	
81. Du 11 avril 1864.	— 67 à 71.	21	43	5.63	
81. Du 11 avril 1864.	— 95 à 103.	20	43	5.83	
78. Du 12 avril 1864.	— 109 à 104.	29	30	3.23	
78. Du 13 avril 1864.	— 181 à 177.	24	56	4.00	
85. Du 26 nov. 1862.	— 99 à 102.	27	33	5.73	
77. Du 6 déc. 1862.	— 100 à 103.	23	38	5.64	
80. Du 19 mars 1864.	— 81 à 78.	24	27	4.54	
83. Du 16 mars 1864.	— 78 à 82.	26	29	5 18	
83. Du 6 avril 1864.	— 79 à 82.	25	41	5.22	
81. Du 11 avril 1864.	— 79 à 82.	25	43	5.68	
66. Du 7 avril 1864.	— 81 à 78.	22	34	4.95	
78. Du 12 avril 1864.	— 102 à 99.	27	30	3.58	
	Moyennes.	24	35	5.12	

Et pour la voie bonne :

1° Train 33, du 13 mars, pour V = 72k. . . .		f = 115k
2° » du 14 mars, pour V = 75k. . . .		f = 95k
3° » du 15 mars, pour V = 77k. . . .		f = 132k
Moyenne.	V = 75k	et f = 114k par voiture.

Ainsi l'on peut dire que, vu le mauvais état de la voie, on diminuait la vitesse à 64 kilomètres, et que l'effort restait le même qu'à la vitesse de 75 kilomètres ; l'augmentation de la résistance était due à des chocs, à un frottement des boudins des roues contre les rails.

INFLUENCE DES ATTELAGES SUR LES RÉSISTANCES.

La tension plus ou moins grande des attelages influe sur l'effort au démarrage et sur la résistance dans les courbes de petits rayons.

Dans les trains de marchandises, où les tendeurs ne sont ordinairement pas serrés, les wagons se mettent en mouvement les uns après les autres; la mise en marche se fait plus facilement que si les attelages étaient serrés, la machine ayant alors à vaincre l'inertie du train tout entier.

Dans les trains de voyageurs, où, pour atténuer le lacet dû à la vitesse, les tendeurs sont très-serrés, nous avons en effet trouvé un effort au démarrage plus considérable que dans les trains de marchandises.

Pour faire ressortir la différence entre le démarrage des wagons à attelages libres et le démarrage des wagons à attelages serrés, nous joignons au présent mémoire deux calques de courbes dynamométriques (Pl. III); ces portions de courbes représentent la traction au départ :

1° Pour le train de marchandises. . . 75, du 13 février 1865;
2° Pour le train de voyageurs. . . . (2) 16, du 5 juin 1866.

INFLUENCE DE LA VITESSE; RÉSISTANCE DE L'AIR.

Plus la vitesse est grande, plus la résistance de l'air sur les surfaces devient considérable et plus les wagons tendent à prendre du lacet, surtout dans les courbes. Les frottements à la jante augmentent; la résistance des trains en général doit donc dépendre beaucoup de la vitesse.

1° *Trains de voyageurs.*

Pour les trains de voyageurs courts, nous trouvons, d'après nos expériences :

Pour V = 39k.	f = 6k,54,	soit 40k	par voiture.
» V = 46k.	f = 7 ,21,	» 44	»
» V = 58k.	f = 9 ,57,	» 58	»
» V = 76k.	f = 14 ,55,	» 96	»

La planche n° III donne la courbe représentant la loi des résistances suivant les vitesses.

La même planche donne la courbe des résistances pour des trains composés de plus de 10 voitures. On voit que la loi d'accroissement des ordonnées en fonction des abcisses, qui représentent les vitesses, est moins rapide.

Voici 4 points de cette courbe :

Pour V = 35k.	f = 5k,67,	soit	35k	par voiture.
» V = 45k.	f = 5 ,98,	»	37	»
» V = 52k.	f = 6 ,53,	»	40	»
» V = 60k.	f = 8 ,05,	»	48	»

2° *Trains de marchandises.*

La composition et la longueur des trains de marchandises étant très-variables, l'influence de la vitesse sur les résistances est beaucoup plus difficile à apprécier.

En consultant le tableau n° 18, on voit que cette résistance augmente d'environ 1 à 2 pour 100 pour des vitesses croissant de 1 kilomètre dans les limites de 20 à 30 kilomètres à l'heure. (Voir note G.)

3° *Trains mixtes.*

Nous avons trouvé :

Pour V = 40k. . . . . f = 4k,67
Pour V = 30k. . . . . f = 5 ,60.

Ces coefficients sont notablement moindres que pour les trains de voyageurs. Cela tient à ce que la charge utile est beaucoup plus grande dans les trains mixtes, et que la résistance de l'air a beaucoup moins d'influence sur le coefficient de résistance par tonne brute.

INFLUENCE DU VENT EXTÉRIEUR OU ATMOSPHÉRIQUE.

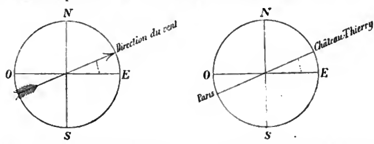
En dehors de la résistance de l'air, il en est une due au vent atmosphérique.

Le train 9, du 3 août 1866 (de Paris à Château-Thierry), et le train 20, du même jour (de Château-Thierry à Paris), composés des mêmes voitures, circulant entre 10 heures du matin et 5 heures du soir, c'est-à-dire offrant la probabilité de rencontrer les mêmes circonstances atmosphériques, ont été expérimentés tous les deux avec le wagon dynamomètre.

La direction de Paris à Château-Thierry est indiquée ci-contre, en regard de la direction du vent observée pendant le voyage.

La voie fait quelques détours ; mais, si l'on considère l'ensemble du voyage, on voit que le train avait à peu près à l'aller vent d'arrière, et au retour vent de face.

Nous avons cherché à déterminer la vitesse absolue du vent, par deux observations de boussole et de girouette, faites à quelques minutes d'intervalle : la première était faite dans la gare de Château-Thierry un peu



avant le départ du train 20 ; la deuxième était faite pendant la marche dans un long alignement qu'on trouve à un kilomètre de Château-Thierry. On pouvait admettre que, pendant l'intervalle, la direction et la vitesse absolues du vent n'avaient pas changé.

Ainsi on connaissait :

1° L'angle fait par la direction réelle du vent avec la direction du train, égal à 40° en stationnement;

2° L'angle fait par la direction relative du vent avec la direction du train, égal à 15°, en marche ;

3° La vitesse du train, c'est-à-dire du vent artificiel créé par le transport du train.

On pouvait donc construire le parallélogramme des vitesses, et en déduire la valeur de la vitesse réelle du vent[1].

La vitesse absolue du vent a été trouvée égale à 8m,40 à la seconde.

Les résistances observées à l'aller et au retour, sur la même portion de voie et à des vitesses peu différentes ont été :

	ALLER.	RETOUR.	OBSERVATIONS.	
Entre poteaux 93 et 97	720 kil.	822	NOMBRE DE VOITURES.	
— 76 et 82	700	857	ALLER.	RETOUR.
— 69 et 66	600	806		
— 59 et 64	552	835	13	13
— 26 et 20	643	817		
Moyenne	643	827		

1. Dans ces conditions, la girouette sert d'anémomètre, à cause de la vitesse de transport de l'appareil.

On trouve donc une différence de 184 kilog. (30 pour 100 environ de résistance du train à l'aller) due à l'influence d'un vent ayant une vitesse de 8 mètres à la seconde.

Ce résultat nous montre l'influence considérable d'un vent, même faible, et combien la résistance des trains de voyageurs doit être variable, à moins qu'on n'ait un temps absolument calme.

L'examen des tableaux VII à X confirme cette assertion.

Comme effet maximum du vent, on y trouve:

Trains de voyageurs :

Essai n° 83 — vitesse 46 kilomètres — $f = 12^k,63$
Essai n° 24 — vitesse 45 kilomètres — $f = 10,06$

Trains de marchandises :

Essai n° 54 — vitesse 25 kilomètres — $f = 7,68$
Essai n° 92 — vitesse 21 kilomètres — $f = 8,60$

Ces quatre derniers essais ont été faits par des vents assez forts, mais qui cependant ne pouvaient être qualifiés de tempêtes : il en résulte que, sans rencontrer de circonstances atmosphériques extraordinaires, la résistance des trains peut varier du simple au double.

TROISIÈME PARTIE.

Nous nous trouvons avoir traité cette troisième partie du programme, aux articles précédents, où nous avons parlé de l'influence des courbes et de la longueur des trains sur les coefficients de résistance.

Nous n'avons fait aucune expérience sur un véhicule isolé, par la raison que nous n'avions pas de courbes d'assez petit rayon pour obtenir des résultats.

QUATRIÈME PARTIE.

Résultats et calculs pratiques pouvant servir à déterminer les différents termes entrant dans la formule de la puissance d'une machine.

FORMULES POUR LA RÉSISTANCE DES TRAINS.

Les nombreuses expériences que nous avons entreprises conduisent à des formules donnant la résistance r par tonne du train.

La formule de W. Harding pour la résistance r des trains en palier et ligne droite est :

$$r = 2.72 + 0.094\,V + \frac{0.00484 \times S V^2}{P} \qquad (\delta)$$

r étant la résistance du train en kilogrammes par tonne.
V » la vitesse en kilomètres à l'heure.
S » la section de face du train ($S = 5$ mètres carrés).
P » le poids du train en tonnes.

Cette formule donne des résultats beaucoup trop forts. Dans le tableau n° 19 on trouve son application aux trains des tableaux I à VII (temps calme, courbes de grand rayon, faible inclinaison de la voie). On voit que la différence obtenue pour les valeurs de r est considérable.

Tout en maintenant à l'équation (δ) sa forme qui nous a paru bonne, nous avons dû chercher à modifier les coefficients qu'elle contient.

Les résultats de nos essais ont été les suivants :

1° Il n'est pas possible d'admettre une formule simple qui satisfasse à un train quelconque ;

2° On doit faire deux groupes. Le premier comprend les trains de marchandises aux vitesses de 12 à 32 kilomètres à l'heure, le second se rapporte aux trains de toute nature, marchant à des vitesses supérieures à 32 kilomètres.

1er GROUPE. — *Trains de marchandises, vitesse de 12 à 32 kilomètres. — Courbes de grand rayon. — Palier. — Beau temps.*

Avec des vitesses faibles, le terme en V^2 de l'équation (δ) a fort peu

Tableau N° 19 — Application de la formule de W. Harding : $R = 2.72 + 0.094 \times V + \frac{0.00484 \times S \times V^2}{P}$.

Trains de marchandises et mixtes.

DÉSIGNATION DU TRAIN.	VITESSE à l'heure.	POIDS brut en tonnes.	VALEUR du 2ᵉ terme.	VALEUR du 3ᵉ terme.	VALEUR totale calculée de R.	VALEUR donnée par l'expérience.	EXCÈS de la valeur calculée.	OBSERVATIONS.
199 Du 20 juin 1862....	20k	567t	1.88	0.02	4k.62	3.12	+ 1.50	S est la section de face du train.
02 Du 27 févr. 1863....	25	306	2.35	0.05	5 .12	3.14	+ 1.98	S = 5 m. carrés.
40.62 Du 28 avril 1864....	26	509	2.45	0.03	5 .20	3.20	+ 2.00	
66 Du 31 août 1864....	17	332	1.60	0.02	4 .34	3.14	+ 1.20	
507 Du 27 juin 1862....	29	221	2.73	0.09	5 .54	4.43	+ 1.11	
502 Du 15 juin 1862....	29	301	2.73	0.07	5 .52	4.32	+ 1.20	
64 Du 19 mars 1803....	28	321	2 63	0.06	5 .41	4.01	+ 1.40	
62 Du 27 févr. 1863....	31	306	2.92	0.07	5 .71	3.18	+ 2.53	
78 Du 17 mars 1864....	31	474	2.92	0.04	5 .68	3.98	+ 1.70	
88 Du 18 mars 1864....	29	249	2.73	0.08	5 .53	4.05	+ 1.48	
78 Du 12 avril 1864....	32	300	3.02	0.08	5 .80	4.33	+ 1.47	
78 Du 12 avril 1864....	29	326	2.73	0.06	5 .51	3.54	+ 1.97	
78 Du 13 avril 1864....	31	530	2.92	0.04	5 .70	4.41	+ 1.29	
78 Du 13 avril 1864....	31	536	2.92	0.04	5 .68	3.54	+ 2.14	
66 Du 31 août 1864....	30	296	2.83	0.07	5 .62	3.71	+ 1.91	
100 Du 25 avril 1862....	36	239	3.38	0.13	0 .23	4.64	+ 1.59	
100 Du 25 avril 1862....	38	227	3.58	0.15	6 .45	4.60	+ 1.85	
38 Du 5 déc. 1862....	37	200	3.48	0.16	0 .30	4.67	+ 1.69	
38 Du 16 déc. 1862....	39	174	3.67	0 21	6 .60	4.43	+ 2.17	
46 Du 19 nov. 1864....	44	120	4.14	0.39	7 .25	5.18	+ 2.07	
100 Du 16 avril 1862....	34	207	3.20	0.13	6 .05	5.22	+ 0.83	
100 Du 16 avril 1862....	42	190	3.95	0.10	6 .77	5.75	+ 1.02	

d'importance; on peut le supprimer. La nature du graissage a une influence notable, elle change les coefficients.

Nous avons alors été conduits par tâtonnement aux deux formules suivantes : température avoisinant 15°.

Pour les trains lubréfiés à l'huile :

$$r = 1.65 + 0.05\ V \qquad (a$$

Pour les trains lubréfiés à la graisse :

$$r = 2,30 + 0.05\ V \qquad (b)$$

Le tableau n° 20 donne les résultats de ces formules appliquées à nos essais, on voit qu'ils diffèrent fort peu de ceux obtenus par l'expérience.

Tableau n° 20. — Application d'une formule nouvelle au calcul de la résistance des trains de marchandises.

$$R = 2.30 + 0.05 \times V.$$

DÉSIGNATION DU TRAIN.	VITESSE à l'heure.	VALEUR du terme en V.	VALEUR de R calculée.	VALEUR DE R trouvée par l'expérience.	EXCÈS de la valeur calculée.	OBSERVATIONS.
	kilom.		kilogr.	kilogr.		
199. Du 20 juin 1862..	20	1.00	3.30	3.12	+ 0.18	
62. Du 27 févr. 1863..	25	1.25	3.55	3.14	+ 0.41	
40.62. Du 28 avril 1864..	26	1.30	3.60	3.20	+ 0.40	
66. Du 31 août 1864..	17	0.85	3.15	3.14	+ 0.01	
567. Du 27 juin 1862..	29	1.45	3.75	4.43	— 0.68	
562. Du 15 juin 1862..	29	1.45	3.75	4.32	— 0.57	
64. Du 19 mars 1863..	28	1.40	3.70	4.01	— 0.31	
62. Du 27 févr. 1863..	31	1.55	3.85	3.18	+ 0.67	
78. Du 17 mars 1864..	31	1.55	3.85	3.98	— 0.13	
88. Du 18 mars 1864..	29	1.45	3.75	4.05	— 0.30	
78. Du 12 avril 1864..	32	1.60	3.90	4.33	— 0.43	
78. Du 12 avril 1864..	29	1.45	3.75	3.54	+ 0 21	
78. Du 13 avril 1864..	31	1.55	3.85	4.41	— 0.51	
78. Du 13 avril 1864..	31	1.55	3.85	3.54	+ 0.31	
66. Du 31 août 1864..	30	1.50	3.80	3.71	+ 0.09	

Les formules (*a*) et (*b*) montrent l'avantage du graissage à l'huile sur le graissage à la graisse à la température de 15°. Au-dessous de cette température, cet avantage croît très-vite ; au-dessus au contraire, il devient moins sensible.

2[e] GROUPE. — *Trains de toute nature. — Vitesse supérieure à 32 kilomètres. — Courbes de grand rayon. — Palier.*

Le tableau n° 21 donne les résultats de l'application de la formule de Harding à ces trains. Ils sont beaucoup trop forts pour les trains lourds, se rapprochent de la vérité pour les trains omnibus légers et sont trop faibles pour les trains express de 8 voitures.

Après quelques tâtonnements nous avons dû admettre 3 séries de coefficients. (Voir le tableau n° 22.)

Trains marchant à la vitesse de 32 à 50 kilom. :

$$r = 1.80 + 0.08\ V + \frac{0.009.\ S.\ V^2}{P} \qquad (c)$$

Trains marchant à la vitesse de 50 à 65 kilom. :

$$r = 1.80 + 0.08\ V + \frac{0.006.\ S.\ V^2}{P} \qquad (d)$$

Trains marchant à la vitesse de 70 kilom. et au-dessus :

$$r = 1.80 + 0.14\ V + \frac{0.004\ S.\ V^2}{P} \qquad (e)$$

Pour bien comprendre la nécessité de ces différents coefficients, il faut remarquer que, dans ces formules, le terme en V représente les résistances à la jante, lesquelles croissent avec la vitesse et le lacet, et que le terme en V^2 représente la résistance de l'air; plus le train est lourd, plus la résistance due à la surface exposée au vent est réduite proportionnellement. On conçoit donc que ce terme renferme le poids P en dénominateur.

Les formules (*c*) (*d*) et (*e*) donnent des résultats qui concordent bien avec l'expérience.

r étant le coefficient de résistance par tonne en palier et alignement, pour calculer les résistances additionnelles, dues aux rampes, courbes, etc., on se reportera à la deuxième partie de ce mémoire,

NOMBRE DE CHEVAUX DISPONIBLES PAR UNITÉ DE SURFACE DE CHAUFFE.

Le tableau n° 23 donne le travail maximum développé par différents types de machines dans nos expériences.

TABLEAU N° 21.— Application de la formule de W. Harding : $R = 2,72 + 0,094 \times V + \frac{0,00484 \times S \times V^2}{P}$

Trains de voyageurs.

DÉSIGNATION DU TRAIN.		VITESSE à l'heure.	POIDS BRUT en tonnes.	VALEUR du 2e terme.	VALEUR du 3e terme.	VALEUR totale calculée.	VALEUR du coefficient expérimenté.	EXCÈS de la valeur calculée.	OBSERVATIONS.
		kilom.	tonnes.			kilog.	kilog.		
35.	Du 27 avril 1862.......	47	90	4.40	0.58	7.70	6.24	+ 1.46	
36.	Du 6 mai 1862.......	46	101	4.32	0.52	7.56	5.54	+ 2 12	
40.26.	Du 28 avril 1866.......	44	101	4.13	0.48	7.33	6.43	+ 0.90	
44.	Du 8 juin 1866.......	45	107	4.23	0.47	7.42	5.73	+ 1.69	
40.35.	Du 24 avril 1866.......	45	50	4.23	1.00	7.95	7.44	+ 0.51	
40.35.	Du 26 avril 1866.......	41	56	3.86	0.75	7.33	7.27	+ 0.06	
2.16.	Du 6 juin 1866.......	46	58	4.32	0.91	7.95	7.56	+ 0.39	
35.	Du 27 avril 1892.......	54	90	5.10	0.81	8.63	6.95	+ 1.68	
35.	Du 1er mai 1862.......	50	101	4.72	0.62	8.06	6.03	+ 2.03	
36	Du 6 mai 1862.......	54	101	5.10	0.72	8.54	6.03	+ 2.51	
35	Du 7 mai 1862.......	50	106	4.72	0.59	8.03	6.71	+ 1.32	
40.23.	Du 28 avril 1866.......	52	101	4.90	0.67	8.29	6.54	+ 1.75	
35.	Du 4 juin 1866.......	54	105	5.10	0.69	8.51	6.95	+ 1.56	
36.	Du 30 avril 1862.......	58	91	5.45	0.92	9.09	8.03	+ 1.06	
35.	Du 19 nov. 1864.......	59	98	5.56	0.88	9.16	7.95	+ 1.21	
35.	Du 4 juin 1866.......	63	105	5.95	0.96	9.63	8 16	+ 1.47	
40.35.	Du 24 avril 1866.......	65	50	6.12	2.12	10.96	9.80	+ 1.16	
40.32.	Du 25 avril 1866.......	60	55	5.65	1.65	10.02	9.10	+ 0.92	
2.16.	Du 5 juin 1866.......	61	61	5.75	1.55	10.02	9.80	+ 0.22	
33.	Du 14 mars 1866.......	76	53	7.17	2.73	12.62	14.55	— 1.93	

Tableau n° 22 — Application de formules nouvelles à la résistance des trains de voyageurs.

Désignation des trains.	Vitesse à l'heure.	Poids brut en tonnes.	Terme en V.	Terme en V².	Valeur totale calculée.	Valeur totale expérimentée.	Excès de la valeur calculée.	Observations.
	Trains marchant à la vitesse de 32 à 50 kil. à l'heure. $R = 1.80 + 0.08\,V + \frac{0.009 \times S\,V^2}{P}$							
	kil.	tonnes.			kilogr.	kilogr.		
100. Du 25 avril 1862..	36	239	2.86	0.23	4.91	4.64	+ 0.27	
100. Du 25 avril 1662..	38	227	3.04	0.26	5.10	4.60	+ 0.50	
38. Du 5 déc. 1662..	37	200	2.96	0.29	5.05	4.67	+ 0.38	
38. Du 16 dece 1862..	39	174	3.12	0.38	5.30	4.43	+ 0.87	
46. Du 19 nov. 1864.	44	120	3.52	0.70	6.02	5.18	+ 0.84	
100. Du 16 avril 1862..	34	207	2.72	0.23	4.75	5.22	— 0.47	
100. Du 16 avril 1862..	42	190	3.36	0.19	5.35	5.75	— 0.40	
35. Du 27 avril 1662..	47	90	3.76	1.11	6.67	6.24	+ 0.43	
36. Du 6 mai 1662..	46	101	3.68	0.95	6.43	5.54	+ 0.89	
40.28. Du 28 avril 1866..	44	101	3.52	0.87	6.19	6.43	— 0.24	
44. Du 6 juin 1666..	45	107	3.60	0.85	6.25	5.73	+ 0.52	
40.35. Du 24 avril 1866..	45	50	3.60	1.83	7.23	7.95	— 0.72	
40.35. Du 26 avril 1866..	41	56	3.28	1.37	6.45	7.33	— 0.88	
2.16. Du 6 juin 1666..	46	56	3.68	1.62	7.10	7.95	— 0.85	
	Trains marchant à la vitesse de 50 à 65 kil. à l'heure. $R = 1.80 + 0.08\,V + \frac{0.006 \times S \times V^2}{P}$							
35. Du 27 avril 1862..	54	90	4.32	0.97	7.09	6.95	+ 0.14	
35. Du 1er mai 1862..	50	101	4.00	0.74	6.34	6.03	+ 0.31	
36. Du 6 mai 1862..	54	101	4.32	0.86	6.98	6.03	+ 0.65	
35. Du 7 mai 1862..	50	166	4.00	0.71	6.51	6.71	— 0.20	
40.23. Du 26 avril 1666..	52	101	4.16	0.80	6.76	6.54	+ 0.22	
35. Du 4 juin 1666..	54	105	4.32	0.82	6.94	6.95	— 0.01	
36. Du 30 avril 1862..	58	91	4.64	1.10	7.54	8.03	— 0.49	
35. Du 19 nov. 1864..	59	68	4.72	1.05	7.57	7.93	— 0.36	
35. Du 4 juin 1566..	63	105	5.04	1.15	7.99	8.16	— 0.17	
40.35. Du 24 avril 1666..	65	50	5.20	2.55	8.55	8.80	— 0.25	
40.32. Du 25 avril 1666..	60	55	4.60	1.97	8.57	9.10	— 0.53	
2.16. Du 5 juin 1666..	61	61	4.86	1.86	8.54	9.80	— 1.26	
	Trains marchant à la vitesse de 70 kilomètres et au-dessus, à l'heure $R = 1.80 + 0.14\,V + \frac{0.004 \times S\,V^2}{P}$							
33. Du 14 mars 1866..	76	53	10.64	2.18	11.62	14.55	+ 0,07	

Tableau n° 23. — Valeur maxima du travail des machines d'après les expériences.

DÉSIGNATION DU TRAIN.	TYPE de machine.	VITESSE A L'HEURE.	TRAVAIL sur la barre d'attelage.	TRAVAIL pour le transport du moteur.	TRAVAIL TOTAL au pourtour des roues motrices.	MOYENNE des travaux pour chaque type.	OBSERVATIONS.
		kil.	chev.	chev.	chev.	chev.	
33. Du 13 mars 1868.	Type Crampton	78	262	[2] 115	377	392	[1] Ce grand travail de 345 chevaux n'a été soutenu que pendant un parcours peu prolongé.
33. Du 15 mars 1868.	—	74	297	110	407		
1.16. Du 7 juin 1866.	Roues lib. T. 1.	42	132	[3] 87	219		
1.35. Du 4 juin 1866.	—	37	113	60	193	204	
1.38. Du 21 juill. 1866.	—	44	110	91	201		[2] Le travail pour le transport du moteur a été évalué à 8 kilog. par tonne, d'après les expériences faites sur les machines à roues libres et sur les tenders.
38. Du 10 déc. 1882.	Mixte. Type 14	45	204	58	281		
40.35. Du 26 avril 1868.	— 12	70	159	120	279		
40.34. Du 27 avril 1866.	— 12	48	175	116	291	297	
40.23. Du 28 avril 1866.	— 14	47	244	101	[1] 345		
35. Du 4 juin 1866.	— 14	63	227	81	308		
2.65. Du 21 juill. 1865.	March. Type 20	18	242	53	295		[3] Les trois expériences sur les machines type 1 ont été faites avec l'échappement serré. La production était difficile.
1.68. Du 8 juill. 1864.	—	25	230	41	271		
1.67. Du 6 juill. 1864.	—	26	250	77	327	295	
3.64. Du 22 juin 1684.	—	24	244	49	293		
1.68. Du 21 juin 1864.	—	20	[illegible]9	44	293		
1,68. Du 20 juin 1864.	—	20	250	44	294		
89. Du 14 avril 1864.	March. Type 15	24	239	33	272		
91. Du 13 avril 1864.	—	28	225	58	263	261	
89. Du 18 mars 1864.	—	31	232	43	275		
140. Du 21 mars 1864.	—	18	183	50	233		
12.72. Du 13 janv. 1866.	6 roues coupl.	21	297	71	368		
12.80. Du 11 janv. 1866.	—	18	278	62	340		
12.72. Du 12 janv. 1868.	—	23	265	71	336	346	
12.86. Du 22 déc. 1865.	—	25	262	78	340		
E.74. Du 21 mars 1867.	—	15	200	127	327		
E.74. Du 22 mars 1867.	—	17	263	104	367		

En pratique, on peut fixer les vitesses maxima de ces différentes machines, comme suit (d'où résulte le nombre de tours de roues par seconde) :

Machine Crampton	V = 80 kil.	22m,30	par seconde.
» mixte	V = 55	15m,30	»
» à marchandises (roues de 1m,40)	V = 30	8m,30	»
» à marchandises (roues de 1m,30)	V = 26	7m,20	»
» à marchandises (8 roues couplées)	V = 24	6m,70	»

On en conclut qu'à leur vitesse maxima, nos diverses machines pourront développer le travail suivant :

Machine Crampton	400	chevaux.
» mixte	300	»
» à marchandises (roues de 1m,40)	300	»
» » (roues de 1m,30)	275	»
» » (à 8 roues couplées)	400[1]	»

Le travail de chaque machine pourra quelquefois, et momentanément, être dépassé, en faisant donner à cette machine ce qu'on appelle un coup de collier; mais, comme force normale, on ne peut compter que sur les valeurs indiquées ci-dessus. (Voir le tableau 23.)

En divisant le travail par les surfaces de chauffe des machines, on obtient le nombre *N* de chevaux disponibles par mètre carré de surface de chauffe. On a :

Machine Crampton	N = 4ch,3
» mixte (type 11)	N = 3ch,0
» » (type 12)	N = 3ch,6
» à marchandises (type 20)	N = 2ch,4
» » (type 15)	N = 2ch,7
» à 8 roues couplées	N = 2ch,0

On conclut de ces chiffres que le travail en chevaux disponible par unité de surface de chauffe, est d'autant plus grand que la vitesse est

1. Dans nos expériences la machine à 8 roues couplées marchait à des vitesses inférieures à 24 kilomètres. A la vitesse de 24 kilomètres elle peut donner un travail de 400 chevaux.

plus grande, et que la surface du foyer est plus considérable relativement à la surface de chauffe totale.

Or, la vitesse qu'une locomotive peut soutenir, en exerçant un effort donné, dépend de la production de vapeur. La note C et le tableau 28 donnent les résultats de nos expériences à ce sujet.

ADHÉRENCE DES LOCOMOTIVES[1].

1° Le tableau n° 24 réunit les trains où nous avons observé des patinages. Il donne la valeur de l'adhérence de la machine lorsque la limite inférieure a été atteinte.

Prenons comme exemple le train 140 du 21 mars 1863. — Machine à marchandises, type 15. — Poids adhérent = 30000 kilogr.

Profil de la voie = rampe de 9 millim. — Température = 7°. Pluie et vent.

L'effort de traction sur la barre d'attelage du tender a été de 2850 kil. : pour avoir l'effort total tangentiel, il faut ajouter 700 kil. absorbés pour le transport du moteur même (voir le tableau n° 24), ce qui donne 3550 kilogrammes.

Le coefficient d'adhérence était $\frac{3550}{30000} = \frac{1}{8,4}$.

Dans l'exemple que nous avons pris, la vitesse n'a pas été inférieure à 15 kilom., malgré les patinages : pour réaliser ces conditions, il faut que les machines soient munies de sabliers fonctionnant parfaitement.

Le tableau n° 24 montre que l'adhérence, dans nos expériences, est descendue jusqu'à $\frac{1}{13}$, mais c'est exceptionnel : il ne faudrait pas baser une réglementation de charge sur ce chiffre.

Le tableau n° 25 réunit les trains où la traction a pu se faire avec des valeurs très-élevées de l'adhérence, sans qu'il y ait eu patinage. Dans le haut se trouvent les coefficients observés en marche et correspondant à un parcours prolongé; dans le bas, les coefficients observés dans les démarrages et dus à un effort instantané.

1. Un certain effort parallèle au rail pouvant être exercé au pourtour des roues motrices, si on le dépasse, les roues glissent, il y a *patinage*. — L'effort qu'on peut produire sans faire patiner correspond dans chaque cas à une certaine fraction du poids, on lui donne le nom d'adhérence. La fraction par laquelle il faut multiplier le poids pour obtenir l'adhérence, se nomme coefficient d'adhérence.

Tableau n° 24. — Expériences dynamométriques. — Adhérence minima. — Cas de patinage.

Numéros d'ordre.	Désignation du train.	Poids brut du train.	Type de machine.	Poids adhérent.	Profil de la voie.	Circonstances atmosphériques.	Effort de traction.	Effort pour le transport du moteur.	Effort total tangentiel.	Coefficient d'adhérence.
		tonn.		kil.			kil.	kil.	kil.	
1	140. Du 21 mars 1863.	211	Marchandises. Type 15.	30.000	H. 9 millim.	Pluie. $T = +7°$.	2850	700	3550	$\frac{1}{8.4}$
2	91. Du 13 avril 1864.	323	Marchandises. Type 15.	30.000	Palier.	$T = +10°$.	2800	450	3250	$\frac{1}{9.2}$
3	89. Du 14 avril 1864.	267	Marchandises. Type 15.	30.000	R. $0^{mill.},40$.	$T = +10°$.	3120	260	3380	$\frac{1}{8.8}$
4	1.68. Du 8 juillet 1864.	301	Marchandises. Type 20.	33.000	R. 3 millim.	Temps humide.	2110	460	2570	$\frac{1}{12.8}$
5	1.71. Du 4 février 1867.	334	Marchand. Type 15 et 20.	63.000	R. $9^{mill.},25$.	Pluie légère.	4200	1480	5680	$\frac{1}{11.1}$
6	2.16. Du 21 juillet 1865.	97	Mixte. Type 14.	20.000	R. 5 millim.	Pluie. $T = +20°$.	1290	550	1840	$\frac{1}{11}$
7	33. Du 15 mars 1866.	52	Crampton.	10.000	Palier.	Tunnel de Nanteuil.	1100	500	1600	$\frac{1}{6.2}$
8	1.16. Du 7 juin 1866.	53	Roues libres. Type 1.	9.800	R. 5 millim.	Tunnel de Rilly.	830	380	1210	$\frac{1}{8}$
9	1.38. Du 21 juillet 1865.	40	Roues libres. Type 1.	9.800	R. 5 millim.	Tunnel de Rilly.	680	380	1060	$\frac{1}{9.2}$

Tableau n° 25. — Expériences dynamométriques. Adhérence maxima.

DÉSIGNATION du train.	POIDS BRUT du train.	TYPE du machine.	POIDS adhérent.	PROFIL de la voie.	CIRCONSTANCES atmosphériques.	Effort de traction.	Effort pour le transp. du moteur.	Effort total tangentiel.	COEFFICIENT d'adhérence.
	tonn.		kilog.	mill/m.		kilog.	kilog.	kilog.	
1.64. Du 20 juin 1864	325	Type 20.	33000	R. 8.	Temps sec.	3800	590	4390	1/7,5
1.68. Du 6 juillet 1664	334	—	33000	—	T. un peu humide.	3750	590	4340	1/7,6
1.68. Du 27 juill. 1864	393	Type 14.	20000	—	Temps sec.	3550	500	4050	1/5 (1)
1.43. Du 19 juill. 1865	64	Type 1.	9800	R. 9,25.	—	950	530	1480	1/6,6
31. Du 21 déc. 1665	73	Type 7.	19000	R. 8.	—	1510	620	2130	1/8,6
33. Du 13 mars 1666	52	Crampton.	10000	Palier.	Tunnel de Nanteuil.	920	500	1420	1/7
33. Du 15 mars 1866	53	—	10000	R. 5.	Temps sec.	1160	500	1680	1/6
40.32. Du 25 avril 1666	55	Type 2 *bis*.	11000	R. 6.	—	850	530	1380	1/8
1.35. Du 4 juin 1866	45	Type 1.	9800	R. 9,25.	T. un peu humide.	630	530	1360	1/7,2
1.16. Du 7 juin 1666	53	—	9800	R. 6.	Temps sec.	900	530	1430	1/6,8
2.65. Du 26 juill. 1865	255	Type 20.	33600	R. 10.	—	3710	740	4150	1/7.4
2.65. Du 21 juill. 1865	259	—	33000	—	—	3930	740	4670	1/7
12.72. Du 13 jav. 1866	522	8 roues coup.	46000	R. 5.	—	4680	990	5670	1/6,1
12.80. Du 11 jav. 1866	571	—	46000	—	Pluie, $t = + 7°$.	4780	990	5770	1/6
12.72. Du 12 jav. 1866	522	—	46000	—	Temps sec.	4730	990	5726	1/8
12.72. Du 11 jav. 1866	533	—	16000	—	Pl. forte, $t = + 3°$	6210	690	7200	1/6,3 (2)
1.69. Du 14 jav. 1867	268	Type 20 et 14	53060	R. 9,25.	Temps sec.	4250	1340	5590	1/9,5 (3)
1.36. Du 21 juill. 1865	40	Type 1.	6800	R. 9.	—	700	530	1230	1/8
E.63. Du 20 mars 1667	156	Type 20.	33000	R. 15.	Pluie et brouillard.	2746	1040	3786	1/6,7
E.63. Du 20 mars 1867	156	—	33000	R. 16,90	—	3035	1200	4235	1/7,6
E.63. Du 20 mars 1867	156	—	33000	R. 19,80	—	3460	1300	4760	1/6,9
E.74. Du 22 mars 1867	233	8 roues coup.	46000	R. 15,50	Vent, un peu de neige	4250	1706	5950	1/7,7
61. Du 13 avr. 1864	338	Type 15.	30000	R. 0,40.	Temps sec.	4750	270	5020	1/5,6 (4)
86. Du 14 avr. 1864	227	—	30000	R. 3,26.	—	4350	400	4750	1/6,3 (5)
66. Du 15 avr. 1864	377	Type 20.	33060	R. 3,50.	—	5700	440	6140	1/5,3 (6)
40.69. Du 26 avr. 1861	285	Type 11.	27000	Palier.	—	5800	230	6030	1/4,4 (7)
40.69. Du 29 avr. 1804	184	Type 12.	22000	R. 3,50.	—	3520	370	3890	1/5,6 (8)
1.67. Du 6 juill. 1864	163	Type 20.	33006	R. 10.	—	5426	790	6210	1/5,3 (9)
1.67. Du 26 juill. 1864	170	Type 15.	30000	Palier.	Pluie abondante.	4480	250	4730	1/6,3 (10)
75. Du 31 août 1864	264	Type 11.	27000	R. 5.	Temps sec.	4896	450	5340	1/5 (11)
12.80. Du 12 jav. 1866	571	8 roues coup.	46000	—	Pluie.	8200	980	9180	1/5. (12)
12.60. Du 12 jav. 1866	571	—	46000	R. 3.	—	8500	850	9350	1/4,9 (13)
12.80. Du 22 déc. 1865	476	—	46000	—	Temps sec.	7850	850	8700	1/5,2 (14)
12.74. Du 9 jav. 1867	370	Type 20.	33000	Palier.	—	7150	280	7410	1/4,4 (15)
E.62. Du 22 mars 1667	135	—	33000	R. 20.	Neige et pl., $t = + 3°$	5000	1300	6300	1/5,2 (16)
E.63. Du 20 mars 1867	156	—	33060	R. 20.	Pl., brouill., $t = 14°$	7200	1300	8500	1/3,9 (17)
35. Du 17 nov. 1664	62	Type 14.	20006	R. 5.	T. humide, $t = 6°$.	2830	450	3280	1/6,1 (18)
46. Du 17 nov. 1864	172	—	20006	Palier.	Pluie, $t = + 11°$.	3200	200	3400	1/5,8 (19)
31. Du 4 mai 1865	70	Type 7.	19006	—	Temps sec.	2880	200	3080	1/6,1 (20)
1.38. Du 21 juill. 1865	40	Type 1.	9800	—	—	1160	160	1320	1/7,4 (21)
1.43. Du 19 juill. 1805	64	—	9800	—	—	1430	160	1590	1/6,2 (22)
31. Du 21 déc. 1863	73	Type 7.	19060	—	—	2230	200	2430	1/7,7 (23)
33. Du 15 mars 1866	53	Crampton.	10000	—	—	1430	200	1630	1/6,1 (24)
33. Du 16 mars 1866	53	—	10000	—	—	1560	200	1760	1/5,7 (25)
40.32. Du 25 avr. 1866	55	Type 2 *bis*.	11000	—	—	1600	200	1800	1/6,1 (26)
40.32. Du 25 avr. 1866	77	Type 12.	22000	—	—	3200	200	3400	1/6,4 (27)
40.35. Du 26 avr. 1866	87	—	22000	—	—	3400	200	3600	1/6,1 (28)
40.35. Du 26 avr. 1866	56	Type 2 *bis*.	11000	—	—	1540	200	1740	1/6,3 (29)
40.26. Du 28 avr. 1866	101	Type 14.	20000	—	—	3030	200	3830	1/5,2 (30)
1.36. Du 1 févr. 1867	30	Type 1.	9800	—	Pluie.	1356	160	1510	1/6,5 (31)

OBSERVATIONS. — 1. Remorqué exceptionnellement par une mixte. — 2. Effort dans un passage difficile. — 3. Double traction. — 4 à 8. Au démarrage d'une station. — 9. Démarrage après signal d'arrêt. — 10 et 11. Au démarrage d'une station. — 12. Rupture d'un attelage. — 13 à 15. Au démarrage d'une station. — 16 et 17. Démarrage après signal d'arrêt. — 16 à 31. Au démarrage d'une station.

Le coefficient, pendant la marche, a eu pour valeur maximum $\frac{1}{5}$. C'est la limite supérieure de l'adhérence qui servira à fixer les charges maxima que peuvent remorquer les machines pendant la belle saison. Quant aux charges minima des machines, qui doivent être traînées en tout temps, on les déterminera en prenant pour coefficient $\frac{1}{9}$. En hiver, on ne peut pas compter sur une adhérence supérieure.

La variation de vitesse des trains peut facilement faire que les machines manquent d'adhérence : en effet, un train de 8 voitures, marchant en palier à la vitesse de 70 kilom., exige autant d'adhérence que le même train marchant à 40 kilom. sur une rampe de 9 millim.

Les démarrages se faisant habituellement avec le levier de marche à fond de course, on approche, à chaque démarrage, assez près de la limite d'adhérence, et les coefficients qu'on trouve sont plus élevés que ceux obtenus en marche. Dans la pratique, on peut admettre le coefficient de $\frac{1}{5}$ comme adhérence au démarrage.

FORMULE PRATIQUE DE LA PUISSANCE D'UNE MACHINE.

Pour nous mettre complétement dans les idées du programme qui demande *une formule* pratique, celle que nous allons donner n'est tirée que des résultats de nos expériences.

Soit P la charge brute en tonnes que peut traîner une machine à la vitesse V sur une voie de profil connu.

r la résistance du poids P par tonne.

P' le poids en tonnes de la machine et du tender.

r' la résistance du poids P' par tonne, considérant la machine et le tender comme des véhicules.

S la surface de chauffe de la machine.

N le nombre de chevaux disponibles par unité de surface de chauffe.

P'' le poids adhérent de la machine, c'est-à-dire le poids reposant sur les points de contact des roues motrices avec le rail.

m le coefficient d'adhérence de la machine.

L'effort à la jante sera :

$$P\,r + P'\,r'.$$

V étant la vitesse en mètres à la seconde, le travail à produire est

$$(P\,r + P'\,r')\,V.$$

et on devra avoir :

$$(P r + P' r') V \leqq S \times N \times 75. \qquad (F)$$

De plus pour éviter le glissement ou patinage il faut qu'on ait :

$$(P r + P' r') \leqq m P''. \qquad (F')$$

Au moyen de ces deux formules on pourra donc calculer la charge que peut traîner une locomotive donnée. Elles serviront aussi pour résoudre le problème inverse qui se présentera plus souvent en pratique :

Déterminer les éléments principaux d'une locomotive devant remorquer une charge brute P à la vitesse V sur une voie de profil connu.

Dans l'équation F on donnera d'abord à P' une valeur approximative, on en déduira la valeur de S. L'équation (F') permettra de déterminer P''.

Le problème aura reçu sa meilleure solution si l'on parvient à rendre égaux deux à deux les membres des relations (F) et (F'). (Voir pour les autres organes de la machine la note E.)

FIN DU MÉMOIRE.



Note A.

PUISSANCE VIVE DE ROTATION D'UNE PAIRE DE ROUES.

Dans les expériences dynamométriques sur la résistance des trains, il peut arriver que chaque période expérimentée ait été parcourue à une vitesse uniforme; rien de plus facile alors que de mesurer la résistance du train. Mais très-souvent il arrive que la vitesse a varié sensiblement; dans ce cas, la recherche du coefficient de résistance exige plus de calcul. Voici alors la formule qui nous a servi, soit :

V_0 la vitesse initiale (en kilomètres à l'heure);
V_1 la vitesse finale (en kilomètres à l'heure);
P le poids du train en tonnes;
p le poids (en kilogr.) d'une partie tournante (roue ou essieu);
K le rayon de giration d'une partie tournante;
R le rayon du cercle de roulement.
n le nombre de véhicules;
x le coefficient inconnu de résistance par tonne, à la vitesse moyenne de $\frac{V_1 + V_0}{2}$;

F l'effort moyen de traction en kilogrammes;
s l'espace parcouru en mètres;

On a :

$$(1) \quad F \times s = x \times P \times s \pm \frac{1}{2g}\left(P \times 1000 + \Sigma p \frac{K^2}{R^2}\right) \times \frac{V_1^2 - V_0^2}{12,96}.$$

Calculons la valeur du terme

$$\Sigma p \frac{K^2}{R^2}.$$

Nous appliquerons le calcul à la jante et à l'essieu, en négligeant les rayons.

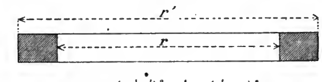
Soit pour la jante $p' \times \frac{K'^2}{R^2}$.

Il s'agit ici du matériel de l'Est, qui a composé la plus grande partie des trains expérimentés.

Or, le diamètre extérieur de la roue est de $1^m,03$, quand la roue est

neuve. Le bandage neuf a 55 millim. d'épaisseur; on l'use jusqu'à 25 millim. d'épaisseur. Donc, en considérant la roue comme à moitié de son usure, on aura :

$$2\,R = 1^{m},00.$$



$$K'^2 = \left(\frac{r+r'}{2}\right)^2 + \frac{1}{4} \times \left(\frac{r'-r}{2}\right)^2$$

On tire de là

$$K' = 0,48,$$

c'est-à-dire que K' est égal, à très-peu de chose près, au rayon du cercle du roulement

$$\frac{K'^2}{R^2} = \frac{0,48^2}{0,50^2} = 0,920.$$

Le poids de 2 bandages, à l'épaisseur moyenne de 40 millim., est de 264 kilogr. Donc, pour une paire de bandages, on aura :

$$p' \frac{K'^2}{R^2} = 264 \times 0,92 = 243.$$

Soit pour l'essieu : $p'' \times \frac{K''^2}{R^2}$.

Ce terme est très-petit. On trouve :

$$p'' \times \frac{K''^2}{R^2} = 1,08.$$

Pour une paire de roues montées on a :

$$p' \frac{K'^2}{R^2} + p'' \frac{K''^2}{R^2} = 244,08.$$

Pour le wagon à 2 essieux :

$$\Sigma\, p \frac{K^2}{R^2} = 488.$$

e pour le train complet :

$$\Sigma\, p \frac{K^2}{R^2} = n \times 488.$$

Après substitution et réduction, la formule (1) devient :

(2) $F \times s = x \times P \times s \pm 0,004\,(P \times 1000 + n \times 488) \times (V_1^2 - V_0^2)$.

Cette formule a été appliquée aux calculs des tableaux I à X.

Elle permet de calculer la résistance moyenne par tonne x, même lorsque la vitesse a varié du commencement à la fin de l'expérience.

Supposons qu'il s'agisse d'un seul wagon, lancé à une vitesse initiale V_0, et abandonné à lui-même jusqu'à l'arrêt complet.

Le troisième terme de la formule (2) a alors pour expression :

$$0,004 \times (1000\,P + 488) \times V_0^2.$$

Remplaçant le poids en tonnes P par le poids en kilogrammes P′; remplaçant la vitesse en kilomètres à l'heure V_0 par la vitesse en mètres à la seconde V, on aura :

$$P' = m \times g,$$
$$P = 0,001 \times P',$$
$$V_0 = 3,60 \times V,$$

et le terme ci-dessus devient :

$$\left(\frac{1}{2} m + 25\right) \times V^2.$$

Ainsi la puissance vive de rotation d'une paire de roues de wagon, en kilogrammètres, est exprimée par $12,5\,V^2$.

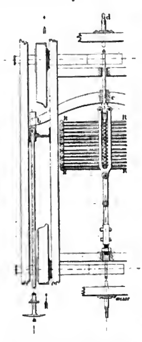
Le même calcul nous a donné les valeurs suivantes, pour exprimer la puissance vive des roues de plusieurs véhicules auxquels s'appliquent nos expériences :

1° Pour une paire de roues	de tender	de $1^m,20$,	$18,4 \times V^2$;
2° » »	de machine	de $1^m,30$,	$20 \times V^2$;
3° » »	»	de $1^m,68$,	$27,4 \times V^2$.

Note B.

MODIFICATION APPORTÉE AU DYNAMOMÈTRE, POUR CALCULER L'EFFORT OPPOSÉ A LA DESCENTE D'UN TRAIN PAR UN FREIN QUELCONQUE.

Dans ces derniers temps, le dynamomètre, décrit page 3, a été modifié de manière à pouvoir inscrire l'effort opposé par un frein dans une descente.



Dans la marche en traction, l'effort à la barre d'attelage se mesure toujours de la même façon : le crochet de traction *d*, du côté de l'avant, agit sur le ressort R, dont la chape d'arrière est fixée d'une manière invariable au châssis du wagon.

Mais, de plus, on a emmanché sur la tige de traction une pièce transversale *bc* en fer forgé, aux extrémités de laquelle viennent buter des pièces à enfourchement clavetées sur les tiges des tampons d'arrière.

Si donc, dans une descente, on suppose un frein placé en avant du wagon-dynamomètre, les tampons d'avant de celui-ci viennent s'appuyer contre cet obstacle, et ses tampons d'arrière *a* reçoivent la poussée du train roulant par derrière, et la transmettent par l'intermédiaire de la pièce *b c* à la tige de traction du dynamomètre. Par conséquent le ressort dynamométrique s'ouvre, et sa tension fait équilibre à la poussée.

On peut donc relever des diagrammes qui inscrivent la force retardatrice et la vitesse, et partant le travail des freins.

Note C.

PRODUCTION DE LA VAPEUR.

La vitesse qu'une locomotive peut soutenir en exerçant un effort donné, dépend de sa production de vapeur. Les tableaux nos 26, 27 et 28 donnent les consommations d'eau maxima que nous ayons observées et la valeur maxima du travail en chevaux.

La valeur maxima du travail en chevaux comprend le travail développé sur la barre d'attelage du tender, et le travail nécessaire pour le transport du moteur lui-même. Ce dernier travail a été évalué d'après les données du tableau n° 3. (Voir page 13.)

Quand la valeur du travail moyen total n'est pas indiquée, c'est que le parcours a été trop accidenté pour qu'on ait pu faire une moyenne exacte.

L'eau était mesurée dans le tender au moyen d'une échelle graduée[1].

Parmi les machines à voyageurs, c'est la machine Crampton qui a développé le plus grand travail; il s'élève à 407 chevaux. La production maxima de vapeur par mètre carré de surface de chauffe totale et par heure, a été de 42 kilogrammes.

La machine mixte, type 12, a produit en moyenne autant que la machine mixte type 14, et cependant le type 12 a une surface totale beaucoup moindre; mais nous voyons dans le tableau n° 1 que son foyer est aussi grand que celui du type 14, seulement les tubes sont notablement plus courts. L'allongement des tubes au delà de 3 mètres environ n'augmente donc pas la production de vapeur d'une manière sensible, dans les machines à voyageurs.

Au plus grand nombre de tours de roues en une seconde correspond la plus grande production. Pour la Crampton, à 2 tours 83 correspond une production de 42 kilogrammes; pour la mixte type 12, à 2 tours 77 correspond une production de 38 kilogrammes.

La grande consommation trouvée pour la machine type 1 tient à l'énorme quantité d'eau entraînée par la vapeur, à cause du très-petit volume de la chaudière.

1. La consommation d'eau ne correspond pas exactement à la production de vapeur, parce qu'il y a de l'eau entraînée. Mais pour le moment, nous ne distinguerons pas l'une de l'autre.

Tableau n° 26. — Consommations

DÉSIGNATION DU TRAIN.	DÉSIGNATION du moteur.	TONNAGE BRUT du train.	NOMBRE de voitures.	STATIONS EXTRÊMES.
1	2	3	4	5
		tonn.		
33. Du 13 mars 1866. Express.	Type Crampton.	52	8	Paris, Épernay.
33. Du 14 mars 1866. Express.	id.	53	8	Paris, Épernay.
33. Du 15 mars 1866. Express.	id.	52	8	Paris, Épernay.
32. Du 15 mars 1866. Semi-direct.	Mixte. Type 14.	72	12	Château, Paris.
35. Du 17 nov. 1864. Semi-direct.	id.	82	14	Paris, Épernay.
32. Du 13 mars 1866. Semi-direct.	id.	88	14	Château, Paris.
32. Du 14 mars 1866. Semi-direct.	Mixte. Type 12.	78	12	Château, Paris.
44. Du 8 juin 1866. Semi-direct.	Mixte. Type 14.	107	17	Epernay, Paris.
35. Du 4 juin 1866. Semi-direct.	id.	105	17	Meaux, Château.
40.35. Du 24 avril 1866. Omnibus.	Mixte. Type 12.	67	11	Nangis, Romilly.
40.32. Du 25 avril 1866. Omnibus.	id.	75	12	Romilly, Paris.
40.35. Du 26 avril 1866. Omnibus.	id.	81	13	Nangis, Romilly.
2. 16. Du 5 juin 1866. Omnibus.	Mixte. Type 14.	61	10	Charleville, Rethel.
2. 16. Du 6 juin 1866. Omnibus.	id.	58	10	id. id.
2. 16. Du 7 juin 1866. Omnibus.	id.	62	10	id. id.
40.35. Du 2 avril 1866. Omnibus.	Mixte. Type 12.	87	11	Gretz, Nangis.
2. 43. Du 6 juin 1866. Omnibus.	Mixte. Type 14.	68	11	Reims, Charleville.
1. 38. Du 21 juillet 1865. Omnibus.	Roues lib. Typ. 1.	40	7	Reims, Epernay.
2. 43. Du 21 juillet 1865. Omnibus.	Mixte. Type 14.	77	13	Reims, Rethel.
2. 16. Du 20 juillet 1865. Omnibus.	id.	78	12	Rethel, Reims.
40.35. Du 24 avril 1866. Omnibus.	Mixte. Type 12.	70	12	Gretz, Nangis.
40.35. Du 24 avril 1866. Omnibus.	Mixte. Type 12.	50	8	Troyes, Bar-sur-Aube.
31. Du 4 mai 1865. Omnibus.	Mixte. Type 7.	70	12	Châlons, Blesme.
40.35. Du 24 avril 1866. Omnibus.	Mixte. Type 12.	70	12	Paris, Nogent.
40.35. Du 26 avril 1866. Omnibus.	id.	76	12	Romilly, Troyes.
31. Du 4 mai 1865. Omnibus.	Mixte. Type 7.	70	12	Blesme, Bar.
31. Du 21 déc. 1865. Omnibus.	id.	73	14	Blesme, Bar.
40.35. Du 26 avril 1866. Omnibus.	Mixte. Type 12.	87	14	Paris, Gretz.
1. 43. Du 19 juillet 1865. Omnibus.	Roues lib. T. 1.	64	10	Épernay, Reims.
31. Du 4 mai 1865. Omnibus.	Mixte. Type 7.	70	12	Bar, Lérouville.
31. Du 21 déc. 1865. Omnibus.	id.	73	14	Bar, Commercy.
40.35. Du 24 avril 1866. Omnibus.	Mixte. Type 12.	70	12	Nogent, Gretz.
40.35. Du 21 avril 1866. Omnibus.	id.	50	8	Bar, Chaumont.

d'eau. — Trains de voyageurs.

PARCOURS expérimenté.	INCLINAISON moyenne de la voie.	RAMPE MAXIMA du parcours.	VITESSE moyenne.	RÉSISTANCE par tonne du train.	CONSOMMATION d'eau totale.	TRAVAIL moyen utile.	CONSOMMATION D'EAU par kilomètre	par tonne kilométrique.	par voiture kilométrique.	par cheval utile et par kilom.	
6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
kil.		mill.	kilom.	kilog.	litr.	ch.	litres.	litres.	litres.	litres.	
141	Nulle.	5	73	17.29	7830	247		1.06	6.87	0.22	
141	Nulle.	5	71 } 72	14.45	7570	201	53 } 56	1.00 } 1.08	0.62 } 7.04	0.26 } 0.23	1
141	Nulle.	5	73	19.75	8680	280	61	1.17	7.62	0.22	
94	Nulle.	5	45	11.10	5670	141	60	0.83	5.00	0.41	
141	Nulle.	5	48 } 47	8.43	9300	117	66	0.80	4.72	0.45	2
94	Nulle.	5	47	8.01	5280	131	56 } 58	0.63 } 0.72	4.00 } 4.45	0.45 } 0.44	
94	Nulle.	5	46	9.02	4616	132	49	0.62	4.08	0.47	
141	Nulle.	5	45	5.73	8270	101	57	0.53	3.35	0.56	
51	Nulle.	5	49	7.03	3312	180	61	0.61	3.77	0.35	
59	P. 0mill.8	5	46	12.50	3250	»	56	0.83	5.09	»	
128	P. 0 .3	6	40	6.26	7300	»	57	0.76	4.75	»	
59	P. 0 .8	5	50	9.05	3140	»	53	0.65	4.07	»	
49	P. 1 .2	5	54	8.37	2610	»	53	0.86	5.30	»	
49	P. 1 .2	5	46	7.56	2240	»	45	0.77	4.50	»	
49	P. 1 .2	5	48 } 44	6.38	2300	»	47 } 54	0.75 } 0.78	4.70 } 4.60	»	3
31	R. 0 .1	5	43	8.26	1540	»	50	0.57	3.57	»	
88	R. 0 .5	10	36	6.92	1640	»	53	0.80	4.82	»	
30	P. 0 .6	9	40	7.06	1210	»	40	1.00	5.71	»	
39	Nulle.	5 1/2	41	6.61	2240	»	57	0.74	4.38	»	
39	Nulle.	6	42	6.28	2420	»	62	0.79	5.16	»	
31	R. 0mill.4	5	44	12.00	2010	»	64	0.91	5.33	»	
54	R. 1mill.0	6	46	7.44	2280	»	42	0.84	5.25	»	
45	R. 0 .9	3 1/2	51	8.90	2915	130	64	0.91	5.33	0.49	
16	R. 0 .7	5	46	10.00	1140	»	71	1.01	5.92	»	
38	R. 1 .0	5	51	7.91	2530	151	66	0.86	5.05	0.43	
37	R. 1 .6	4	50 } 45	8.30	2270	169	61 } 64	0.87 } 0.91	5.08 } 5.31	0.38	4
37	R. 1 .6	4	47	10.01	2590	168	70	0.95	5.00	0.41	
38	R. 1 .9	6	42	7.87	2900	»	76	0.87	5.40	»	
30	R. 0 .6	9.25	29	3.75	1680	»	56	0.87	5.60	»	
35	R. 1 .4	8	43	5.80	2480	»	71	1.01	5.92	»	
40	R. 1 .2	8	43	10.00	2740	»	68	0.93	4.86	»	
22	R. 2mill.4	6	44 } 50	10.00	1720	168	78 } 72	1.11 } 1.22	6.50 } 7.43	0.46 } 0.18	5
41	R. 3 .8	6	57	8.83	2770	131	67	1.34	8.37	0.51	

Tableau n° 27. — Consommation d'eau. — Trains de marchandises.

DATE.	DÉSIGNATION du moteur.	TONNAGE BRUT du train.	STATIONS EXTRÊMES.	Parcours durant l'expérience.	INCLINAISON de la voie.	Rampe maxima du parcours.	Vitesse moyenne à l'heure.	Résistance par tonne du train.	TRAVAIL utile en chevaux.	CONSOMMATION d'eau totale.	CONSOMMATION D'EAU par kilom.	CONSOMMATION D'EAU par tonne kilométrique	CONSOMMATION D'EAU par cheval utile et par kilomètre.	OBSERVATIONS.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
		tonn		kilom		millim.	kil.	kil.	chev.	litres	litres	litres.	litres.	
11 janvier 1900.	T. 6 roues coupl.	323	Forbach, Saint-Avold.	19	R. 2mill.5	5	16	3.30	236	4203	221	0.41	0.92	
10 janvier 1866.	—	469	— —	19	R. 2 .5	5	17	3.00	237	3620	190	0.40	0.60	
10 janvier 1866.	—	473	— —	19	R. 2 .5	5	15 } 17	2.60	205	3870	203 } 198	0.43 } 0.40	0.99 } 0.81	
23 déc. 1865.	—	465	— —	19	R. 2 .5	5	19	3.01	265	3380	178	0.36	0.67	Marché bas d'eau.
22 déc. 1865.	—	476	— —	19	R. 2 .5	5	17	3.23	233	3760	186	0.41	0.84	
21 mars 1867.	—	210	Vielsalm, Gouvy.	10	R. 15 .1/2	18	14 } 16	18.05	196	1940	194 } 196	0.92 } 0.88	0.98 } 0.86	Mach. 0.526 à 0.600
22 mars 1867.	—	233	— —	10	R. 15 .1/2	18	17	16.24	263	1960	198	0.84	0.75	—
20 mars 1867.	March. Type 20.	156	Trois-Ponts, Francorchamp	13	R. 17 .40	19.50	11 } 12	20.74	134	2790	214 } 202	1.37 } 1.39	1.59 } 1.48	
22 mars 1867.	—	135	— —	13	R. 17 .40	19.60	13	20.40	137	2470	190	1.41	1.36	
26 juillet 1864.	March. Type 15.	170	Ay, Germaine.	12	R. 9 .25	9.25	15	4.47	126	2797	233	1.37	1.85	Pluie forte.
21 juillet 1865.	March. Type 20.	259	Rethel, Launois.	25	R. 4 .2	10	16	3.98	216	4670	167	0.72	0.66	
20 juillet 1865.	—	255	— —	25	R. 4 .2	10	16 } 19	3.15	191	3300	132 } 158	0.51 } 0.71	0.69 } 0.75	
6 juillet 1864.	—	163	Amagne, Launois.	17	R. 6 .2	10	24	6.03	235	2813	165	1.01	0.70	
20 juin 1864.	—	245	Bazancourt, Witry.	11	R. 4 .0	6	22	5.25	194	1630	148	0.60	0.76	
6 juillet 1864.	—	334	Rethel, Reims.	40	Nulle.	6	15	2.74	»	6707	143	0.43	»	
21 juin 1864.	—	300	— —	40	Nulle.	6	19 } 20	4.47	»	4632	118 } 118	0.36 } 0.38	»	
20 juin 1864.	—	244	Reims, Rethel.	40	Nulle.	5.1/2	25	4.30	»	3550	64	0.34	»	
27 juillet 1864.	Mixte. Type 14.	354	Reims, Rethel.	40	Nulle.	6	20	3.34	»	5378	134	0.37	»	
1er sept. 1864.	March. Type 20.	316	La Vilette, Lagny.	28	P. 0mill.5	3.50	28	2.92	»	2230	85	0.27	»	
1er sept. 1864.	—	310	Lagny, Meaux.	17	R. 0 .3	3.50	28	3.46	135	1995	117	0.37	0.67	
1er sept. 1864.	—	256	Meaux, La Ferté.	21	Nulle.	5	23	3.76	140	2253	107	0.41	0.76	
31 août 1864.	—	301	Lagny, Noisy.	19	R. 0mill.6	3.1/2	28	3.40	133	2200	115	0.38	0.66	
6 juillet 1864.	—	323	Mohon, Rethel.	46	P. 1 .2	6	20 } 26	4.64	»	5113	111 } 97	0.33 } 0.35	»	
6 juillet 1864.	—	268	Charleville, Fumay.	40	P. 0 .6	5	32	6.00	210	3691	92	0.34	0.44	Vitesse assez grande.
31 août 1864.	March. Type 11.	288	Lagny, Meaux.	17	R. 0 .3	3.1/2	23	3.61	121	1642	96	0.33	0.78	
30 août 1864.	—	196	Château, La Ferté.	30	Nulle.	0.1/2	26	4.50	»	2400	60	0.40	»	
30 août 1864.	—	196	La Ferté, Meaux.	21	Nulle.	6	26	4.60	»	1525	72	0.36	»	
8 juillet 1864.	March. Type 20.	270	Deville, Mohon.	24	Nulle.	5	25	5.50	191	3756	156	0.57	0.62	Mauvais temps.
14 février 1865.	March. Type 15.	165	Châlons, Epernay.	31	P. 0mill.4	Néant.	37 } 29	6.67	160	3072	99 } 121	0.53 } 0.54	0.62	—
14 février 1865.	—	206	Epernay, Châlons.	31	R. 0 .4	R. 0.4	26	0.40	125	3390	109	0.53	0.60	—

Tableau n° 28. — Production maxima de vapeur.

DÉSIGNATION du moteur.	DÉSIGNATION du train.	VITESSE moyenne à l'heure.	NOMBRE de kilomètres expérimentés.	NOMBRE de tours de roues en 1 seconde.	TRAVAIL exercé sur le train.	TRAVAIL pour le transport du moteur.	TRAVAIL total moyen.	SURFACE de chauffe totale.	POIDS TOTAL d'eau consommée.	POIDS D'EAU consommée par mètre carré de surface totale et par heure.
		kil.	kilom.	tours.	chev.	chev.	chev.	m. q.	kilogr.	kilogr.
Crampton.	33. Du 15 mars 1866.	73	141	2.83	297	110	407	91.27	8680	42
Roues libres. Type 1.	1. 16. Du 7 juin 1866.	42	30	2.18	»	»	»	67.91	2146	42
Mixte. Type 12.	40. 35. Du 24 avril 1866.	57	41	2.77	131	125	256	91.90	2770	38
— Type 7.	31. Du 4 mai 1865.	51	45	2.67	131	71	202	88.32	2915	33
— Type 14.	40. 23. Du 28 avril 1866.	46	55	2.40	»	»	»	100.42	4264	32
— Type 7.	31. Du 21 déc. 1865.	47	37	2.45	173	66	239	88.32	2590	32
— Type 12.	40. 35. Du 24 avril 1866.	44	22	2.14	177	68	245	81.90	1720	36
— Type 12.	40. 35. Du 26 avril 1866.	42	38	2.05	150	65	215	81.90	2900	34
— Type 12.	40. 35. Du 26 avril 1866.	51	38	2.47	150	79	229	81.90	2530	35
— Type 12.	40. 35. Du 24 avril 1866.	46	16	2.22	»	»	»	81.90	1140	33
— Type 14.	1. 68. Du 27 juill. 1864.	20	40	1.05	»	»	»	100 42	5378	35
8 roues couplées.	12. 72. Du 11 janv. 1866.	16	19	1.13	»	»	»	193 63	4203	18
8 roues couplées.	E. 74. Du 21 mars 1867.	17	10	1.19	263	104	367	203.63	1980	16
Marchandises. Type 20.	E. 63. Du 22 mars 1867.	13	13	0.81	132	54	186	126.70	2470	20
— —	E. 63. Du 20 mars 1867.	12	13	0.76	140	50	190	126.70	2790	20
— —	1. 68. Du 8 juillet 1864.	25	24	1.57	190	44	234	126.70	3756	28
— —	1. 67. Du 6 juillet 1864.	24	17	1.52	236	74	310	126.70	2813	29
— Type 15.	78. Du 14 févr. 1865.	37	31	2.52	160	71	231	100.42	3072	32
— —	61. Du 14 févr. 1865.	26	31	1.77	135	50	185	100.42	3390	26
— —	1. 67. Du 26 juillet 1864.	15	12	1.02	126	53	179	100.42	2797	32
— Type 11.	75. Du 31 août 1864.	18	21	1.14	106	26	132	98.80	2715	22
— —	66. Du 30 août 1864.	26	38	1.65	148	33	181	98.80	4063	25

En général, pour les machines à marchandises, la production par mètre carré de surface de chauffe et par heure est moindre que pour les machines à voyageurs. Pour les machines à 4 essieux couplés marchant à pleine traction, cette production n'a été que de 16 à 18 kilogrammes: ces machines marchaient très-lentement; le tirage était faible.

La machine à roues de $1^m,30$, marchant à 37 kilomètres à l'heure, a donné le chiffre de 32 kilogrammes. Si on a obtenu ce même chiffre à une vitesse moindre, c'est qu'on avait serré l'échappement à fond; c'était une mauvaise marche.

La machine type 20, marchant à pleine traction comme adhérence, a donné une production de 20 kilog. La même machine marchant à pleine traction comme production, a donné le chiffre de 29 kilog., à la vitesse de 24 kilomètres.

Ainsi plus une machine marche vite, plus elle produit de vapeur par heure et par mètre carré de surface de chauffe; par conséquent plus elle peut produire de travail. Au point de vue de la production, il y a donc intérêt à pousser la vitesse jusqu'à la limite qu'on ne saurait dépasser sans fatiguer le mécanisme.

CONSOMMATION D'EAU PAR KILOMÈTRE.

1° Le tableau n° 26 donne pour les trains de voyageurs la consommation d'eau par kilomètre pour divers types de machines.

La consommation moyenne par kilomètre, sur des profils voisins du palier, a été la même pour les machines Crampton et pour les machines mixtes, soit 57 litres environ.

Sur une rampe moyenne de $1^m/_m,5$, la consommation kilométrique des machines mixtes a été de 64 litres; sur une rampe moyenne de 3 millimètres, elle a été de 72 litres.

2° Le tableau n° 27 a rapport aux trains de marchandises; il montre que la consommation kilométrique a varié pour les machines à marchandises de 97 à 233 litres, suivant que le profil a été plus ou moins raide.

Sur les rampes de 18 à 20 millimètres, la machine type 20 a consommé plus d'eau par kilomètre que la machine à 4 essieux couplés, vu que, dans la première, on était obligé de forcer la production en serrant l'échappement.

CONSOMMATION D'EAU PAR VOITURE OU PAR TONNE REMORQUÉE.

Les tableaux nos 26 et 27 donnent aussi la consommation d'eau par voiture ou par tonne remorquée et par kilomètre.

1° *Service des voyageurs.*

Les paragraphes (1) et (2) du tableau s'appliquent au même parcours (Paris à Épernay). On voit que sur ce parcours, la traction d'une voiture de train expres a exigé 7lit,04 d'eau, tandis que la traction d'une voiture de train omnibus a exigé seulement 4lit,45 par kilomètre. (Tableau n° 26.)

2° *Service des marchandises.*

La traction d'une tonne brute a exigé par kilomètre 0lit,35 en palier et par le beau temps, — 0lit,54 en palier et par le mauvais temps, 1lit,39 sur rampe de 19mill,50. (Tableau n° 27.)

La traction d'une tonne, à des vitesses et sur des profils à peu près semblables, a demandé 0lit,88 avec une machine à 8 roues couplées et 1lit,39 avec une machine type 20.

Les machines à 8 roues couplées sont donc économiques et utilisent bien la force mécanique de la vapeur. (Grande chaudière, tubes longs.)

CONSOMMATION D'EAU PAR CHEVAL.

Enfin nous avons placé dans les tableaux nos 26 et 27, la consommation d'eau par kilomètre et par cheval vapeur développé à la circonférence des roues motrices.

A conditions égales, cette consommation est d'autant moindre que la vitesse est plus grande. Ainsi elle a été de 0l,23 pour les trains express, et de 0l,44 pour les trains omnibus.

Pour un train de marchandises à très-petite vitesse, cette consommation est allée jusqu'à 1l,48 et même 1l,85. Ces résultats s'expliquent en remarquant que dans les machines à grandes vitesses la vapeur est plus détendue que dans les machines à petites vitesses.

Dans des conditions identiques, la consommation par cheval et par kilomètre a été de 0l,86 pour les machines à 8 roues couplées et de 1l,48 pour la machine type 20, ce qui fait encore ressortir l'économie des machines à 8 roues couplées.

EAU ENTRAINÉE PAR LA VAPEUR ET PERDUE PAR LES FUITES.

Si l'on compare la consommation réelle d'eau mesurée au tender à la consommation théorique, calculée d'après le volume décrit par les pistons pendant la durée de l'admission, on trouve que la première est beaucoup plus grande que la seconde. Cela tient à ce qu'il y a entraînement d'une grande quantité d'eau non vaporisée, et des pertes diverses[1].

En faisant les calculs, nous avons trouvé que les pertes et les entraînements d'eau correspondaient aux fractions suivantes de la consommation totale :

Train (1) 68 du 21 juin 1864.	30 pour 100
— (1) 67 du 6 juillet 1864..	24 pour 100
— (1) 68 du 8 juillet 1864.	31 pour 100
— (2) 65 du 21 juillet 1865.	39 pour 100

Concluons de ces quatre exemples qu'en moyenne, pour les machines du type 20, travaillant au voisinage du maximum de traction, la consommation d'eau non utilisée a atteint 31 p. 100 de la consommation totale.

Ce chiffre s'applique à des machines en bon état et bien conduites.

Il est évident qu'il faut s'opposer le plus possible aux fuites. Mais faut-il s'attacher à sécher la vapeur ?

Il y aurait économie de combustible, mais il ne faudrait pas pousser le séchage trop loin, car la vapeur trop sèche produit une usure rapide des pistons, des cylindres et des garnitures. On a remarqué souvent que certains mécaniciens, ayant l'habitude de marcher bas d'eau, consomment moins de combustible que d'autres mécaniciens, ayant l'habitude de marcher haut d'eau; mais qu'en revanche, les machines des premiers demandent plus d'entretien. On doit donc attacher plus ou moins d'importance à sécher la vapeur, suivant que le combustible sera plus ou moins cher.

1. Ces pertes proviennent des fuites et aussi du volume de l'*espace nuisible* qui n'a pas été compris dans le calcul de la consommation théorique.

Note D

FROTTEMENTS PROPRES D'UNE MACHINE EN TRAVAIL.

Outre les résistances que nous avons trouvées pour les machines roulant à vide, il y a une certaine résistance supplémentaire créée par les pressions réciproques des pièces en mouvement.

Supposant que la machine marche assez lentement pour que la vapeur puisse être considérée comme agissant à pleine pression dès l'origine de l'admission, et pour que la pression résistante puisse être considérée comme égale à la pression atmosphérique, et appelant :

p la pression absolue de la vapeur dans la chaudière,
p' la pression atmosphérique,
s la surface du piston en mètres carrés,
l la longueur d'admission,
l' la longueur de détente,
l'' la longueur d'avance à l'échappement,
l_1 la longueur d'échappement,
l'_1 la longueur de compression,
l''_1 la longueur d'avance à l'admission.

On a pour le travail positif des gaz derrière le piston pendant une course simple du piston :

$$10{,}000 \times s\left[pl\left(1 + 2{,}30 \log \frac{l+l'}{l}\right) + p'\, l''\right].$$

Le travail négatif ou résistant des gaz en avant du piston est exprimé par :

$$10{,}000 \times s\left(p'l_1 + pl''_1 \times 2{,}30 \log. \frac{l'_1 + l''_1}{l''_1} + pl''_1\right).$$

La formule exprimant le travail par course simple d'un piston est donc :

$$T = 10{,}000\, s \times$$

$$\left[pl\left(1 + 2{,}30 \log \frac{l+l'}{l}\right) - p'(l_1 - l'') - pl''_1 \times 2{,}30 \log \frac{l'_1 + l''_1}{l''_1} - pl''_1\right].$$

Pour la machine type 20 et au 6e cran, on a :

$$
\begin{aligned}
s &= 0^m,1515 \\
l &= 0,\ \ 272 \\
l' &= 0,\ \ 249 \\
l'' &= 0,\ \ 136 \\
l_1 &= 0,\ \ 178 \\
l'_1 &= 0,\ \ 163 \\
l''_1 &= 0,\ \ 016 \\
p &= 8^k,\ \ 250 \\
p' &= 1,\ \ 033
\end{aligned}
$$

Ces valeurs, substituées dans la formule précédente, donnent :

$$T = 4500 \text{ kilogrammètres.}$$

Pour un tour de roue complet, ou aura pour les deux pistons .

$$4 \times T = 18000 \text{ kilogrammètres.}$$

Supposons la vitesse de 15 kilomètres à l'heure, on aura par seconde :

$$18000 \times \frac{4.16}{4.40} = 17000 \text{ kilogramt. ou } 226 \text{ chevaux.}$$

Or, considérons le train (1) 68 du 8 juillet 1864.

Sur rampe de 6 millim., une machiue type 20 a remorqué ce train, à la vitesse de 15 kilom. à l'heure, le levier de marche étant au 6e cran, et le travail de traction utile, mesuré sur la barre d'attelage du premier wagon, étant de 175 chevaux.

Ce qui donne pour le travail absorbé par le train :

$$175 \times 75 = 13125 \text{ kilogrammètres.}$$

Il faut y ajouter le travail absorbé par les résistances de la machine et du tender à la vitesse de 15 kilom. ($4^m,16$ par seconde) sur une rampe de 6 millim. (effort de 16^k par tonne, pour le transport et les frottements à vide), on trouve que ce travail est de 3461 kilogrammètres.

On a donc :

Travail absorbé par la remorque du train. . . .	13125	kgmt.
» par le moteur.	3461	»
Total.	16586	

D'autre part nous avons trouvé :

Travail produit par la vapeur.	17000	»
Différence.	414	

Ainsi, le travail absorbé par les frottements additionnels créés par la pression de la vapeur a été de 400 kilogrammètres environ. A cause des hypothèses que nous avons faites, ce chiffre est plutôt au-dessus qu'au-dessous de la vérité.

La machine pesant 33 tonnes, la résistance due à ces frottements, mesurée à la jante, a été de $\frac{414}{4.16 \times 33} = 3^{kil}.02$ par tonne de machine.

La résistance totale due aux frottements du mécanisme et à la pression de la vapeur est donc de $6.05 + 3.02 = 9.07$. (Voir p. 33.)

En réalité, cette résistance n'est pas appliquée à la jante; seulement, elle absorbe une partie de la pression exercée par la vapeur sur les pistons.

D'après ce qui précède, le travail total se décompose de la manière suivante :

175 chevaux développés sur la barre d'attelage du premier wagon,
51 » absorbés par le moteur (machine et tender).

S'il s'était agi de pleine traction en palier, à la même vitesse, le travail disponible sur la barre d'attelage eût été plus grand. Le travail total de 226 chevaux, restant le même, se fût ainsi décomposé :

192 chevaux sur la barre d'attelage,
34 » absorbés par le transport et les frottements du moteur.

RENDEMENT D'UNE MACHINE LOCOMOTIVE A MARCHANDISES.

Si nous appelons *rendement* le rapport du travail utile, au travail théorique de la vapeur, calculé d'après la formule de la page 79, on aura :

$$\frac{192}{226} = 0,85.$$

Le rendement a donc été de 85 p. 100 dans les circonstances de l'expérience, en palier, à pleine traction et à très-faible vitesse.

Mais il nous semble que la véritable manière de définir *le rendement* n'est pas celle-là.

INFLUENCE DU MODE DE DISTRIBUTION SUR LE RENDEMENT.

Le travail théorique de la vapeur est celui qui correspondrait à une

distribution fictive, celle qui consommerait le même poids de vapeur que nous avons dit, mais qui utiliserait parfaitement cette vapeur. Nous supposerons donc que la période d'admission a la même longueur que précédemment, soit 272 millim., mais que tout le reste de la course, soit 385 millim., est en détente. La dépense de vapeur serait la même à la même vitesse; mais le travail théorique serait le travail maximum correspondant à la longueur d'admission donnée.

Dans ce cas, la formule théorique devient :

$$T = 10,000 \times s \left[pl \left(1 + 2,30 \log \frac{l + l'}{l} \right) - p' (l' + l) \right].$$

Si nous appliquons cette formule au type 20 et pour le 6e cran, nous trouvons que le travail théorique par tour de roue serait de 21000 kilogrammètres.

Le travail théorique avec la coulisse de Stephenson, dans les mêmes circonstances, étant par tour de roues de 18000 kilogrammètres,

on a :
$$\frac{18000}{21000} = 0.86.$$

Ce qui montre que le mode de distribution par la coulisse de Stephenson réduit, dans le cas dont il s'agit, de 14 p. 100 le travail utile qu'on pourrait obtenir de la vapeur.

Le véritable rendement d'une machine étant, à notre avis, le rapport du travail utile développé sur le train, au travail théorique de la vapeur correspondant à une distribution parfaite, on a pour le rendement de la machine dans le cas qui nous occupe :

$$\frac{192}{\frac{21000}{75} \times \frac{4.16}{4.40}} = \frac{192}{264} = 0.72.$$

Le rendement dans le cas de pleine traction, à petite vitesse, a donc été de 0.72.

RENDEMENT D'UNE MACHINE A VOYAGEURS.

Comme exemple du rendement d'une machine à voyageurs, nous citerons l'expérience suivante :

Train 32 *du* 15 *mars* 1866.

Château-Thierry à Paris, 94 kilomètres.
Inclinaison moyenne de la voie, nulle.

Volume d'eau consommé, 5670 litres.
Marche au 1er cran, régulateur à demi ouvert.
Travail moyen utile, 144 chevaux.
Vitesse moyenne, 45 kilomètres à l'heure.

Machine mixte, type 14 { Diamètre du cylindre, 42 centimètres. Course du piston, 56 » Diamètre des roues motrices, 1m,68.

Longueur de l'admission, côté gauche du piston, 0m,095.
» » côté droit » 0, 133.

(La longueur de l'admission est très-différente, suivant qu'on considère un côté ou l'autre du piston; nous ferons donc le calcul pour chacun des côtés.)

Pression moyenne indiquée par le manomètre, 7 atmosphères 1/2. (La pression peut s'élever à 8 atmosphères; mais, comme le train était facile, la pression n'atteignait pas le maximum.)

Le travail théorique de la vapeur, en supposant que la pression de la chaudière, 7 atmosphères 1/2, ait existé sur le piston pendant toute l'admission, que la vapeur se soit détendue pendant tout le reste de la course, et que pendant toute la course, la pression résistante ait été égale à la pression atmosphérique, est donné par la formule :

$$T = 10{,}000 + s\left[pl\left(1 + 2{,}30 \log \frac{l+l'}{l}\right) - p'(l+l')\right].$$

On trouve pour le côté gauche du piston :

$$T = 2046 \text{ kilogrammètres.}$$

Pour le côté droit du piston :

$$T = 2704 \text{ kilogrammètres.}$$

Par tour de roue, le travail théorique est de :

$$2\,T + 2\,T' = 9500 \text{ kilogrammètres.}$$

Or, à la vitesse de 45 kilomètres à l'heure, le nombre de tours de roues en une seconde est 2,38, ce qui donne pour le travail théorique en une seconde :

$$9500 \times 2{,}38 = 22600 \text{ kilogrammètres ou } 301 \text{ chevaux.}$$

Le rendement a donc été de :

$$\frac{144}{301} = 0{,}48.$$

Il faut observer que la machine ne fonctionnait pas à son maximum de travail.

Note E.

DIMENSIONS DES ORGANES DES MACHINES.

Les formules que nous avons données pour le calcul des locomotives permettent de calculer la surface de chauffe et le poids adhérent. Reste à fixer les dimensions des organes principaux; nos expériences nous ont conduits aux résultats suivants :

Foyer. — La surface du foyer ne devra pas être inférieure à :

6 à 8 mètres carrés, pour une surface de chauffe totale de 80 à 150 mètres carrés;

9 à 10 mètres carrés, pour une surface de chauffe totale de 150 à 200 mètres carrés.

Cylindres. — Le diamètre des cylindres sera de :

38 à 40 cent.	pour les machines	à roues libres,
40 à 42 cent.	» »	mixtes,
42 à 45 cent.	» »	à 6 roues couplées,
48 à 50 cent.	» »	à 8 roues couplées.

Les grands cylindres donnent beaucoup de puissance au démarrage, mais ils dépensent beaucoup de vapeur en pleine marche. Dans chaque cas leur diamètre sera fixé d'après ces deux considérations.

Roues. — Le diamètre des roues doit être assez grand pour que la vitesse des pièces oscillantes ne soit pas exagérée. Cette vitesse aura une limite d'autant plus basse que le mécanisme sera plus lourd. Nous recommandons les limites suivantes (d'où résulte le nombre de tours maximum par seconde):

2 mètres à $2^m,30$ pour les machines express, roues libres,
($V = 80^k$) $3^t,5$ à $3^t,1$ par seconde;

$1^m,60$ à $1^m,80$ pour les machines mixtes à voyageurs,
($V = 55^k$) $2^t,8$ à $2^t,7$ par seconde;

$1^m,40$ pour les machines à marchandises en plaine,
($V = 30^k$) 1^t9 par seconde;

$1^m,20$ à $1^m,30$ pour les machines à marchandises de rampe,
($V = 24^k$) $1^t,7$ à $1^t,6$ par seconde.

Note F.

PUISSANCE DES FREINS.

Quelques observations sur le fonctionnement des freins peuvent se rattacher à la première question du programme, laquelle comprend la résistance de *tout véhicule* circulant sur les chemins de fer.

Généralement, dans les freins, le calage des roues se fait à fond, c'est-à-dire que les roues glissent sur la voie, en restant immobiles relativement au véhicule; généralement aussi, les sabots sont en bois, et d'un bois offrant le plus grand frottement possible, afin de réduire la force à exercer par le serre-frein.

Lorsque le fonctionnement des freins doit être prolongé, il arrive souvent que des méplats se forment au point de contact de la roue avec le rail, et que les sabots en bois s'usent trop vite. Pour remédier à ces inconvénients, on a proposé de laisser un peu tourner les roues, tout en continuant d'exercer un frottement à leur circonférence, et de substituer des sabots en fonte ou fer aux sabots en bois.

Ce changement réduit-il l'effet utile des freins? — Dans le but de résoudre cette question importante, nous avons fait les expériences suivantes :

Nous avons composé deux trains d'essai, comme suit :

Machine faisant la traction, en tête;

Wagon-dynamomètre, au milieu;

Wagon-frein, en queue.

Au premier train, le wagon-frein était muni de sabots en bois; au deuxième train, ce wagon était remplacé par un autre, muni de sabots en fonte.

Les deux séries d'expériences ont été faites sur la même voie; le rail était sec.

Le train était d'abord lancé à une vitesse déterminée, qu'on maintenait un certain temps en laissant rouler librement; puis, à un signal convenu, le mécanicien fermait son régulateur; au même instant, le frein d'essai était serré et on laissait le train s'arrêter complétement. Avec le wagon-dynamomètre, on mesurait les espaces, les vitesses et la résistance opposée en queue par le frein d'essai, pendant toute la période de ralentissement.

Un autre mode d'expérimentation consistait à serrer le frein pendant que la machine continuait de tirer, en maintenant une vitesse uniforme; on mesurait ainsi la résistance du frein à une vitesse déterminée et continue.

Le tableau n° 29 donne les résultats des expériences — La vitesse moyenne est la même pour les deux séries d'essais : la première série a donné 817 kilogrammes pour la résistance du frein muni de sabots en bois, et dont les roues étaient calées; la deuxième série a donné 1100 kilogrammes pour la résistance moyenne du frein muni de sabots en fonte, et dont les roues tournaient en frottant contre les sabots. Si nous rapportons chacune des résistances au poids du frein correspondant, nous trouvons que ces résistances étaient égales à :

0,128 du poids pour le frein à roues calées,
0,192 du poids pour le frein à roues frottant contre les sabots.

Ainsi, *l'on peut tirer un effet beaucoup plus considérable d'un frein en laissant tourner les roues d'une certaine quantité qu'en les arrêtant complètement.*

Au point de vue théorique, nous pouvons expliquer ce fait de la manière suivante :

Soit :

P le poids du wagon-frein,
s le chemin parcouru depuis le calage jusqu'à l'arrêt complet,
f le coefficient de frottement du bandage fixe sur le rail.

Le travail négatif du frein sera exprimé par :

$$P \times f \times s.$$

Soit maintenant :

f' le coefficient de frottement du bandage non calé,
s' le chemin parcouru par un point du bandage, relativement au rail, pendant toute la période de ralentissement.

Le travail négatif du frein sera exprimé par :

$$P \times f' \times s'.$$

Si dans les deux cas la puissance vive initiale est la même, on aura :

$$P\, f s = P\, f' s'.$$

Or, on a : $s' < s.$

Donc, il faut que f' soit plus grand que f.

On peut expliquer comme suit l'excès de f' sur f.

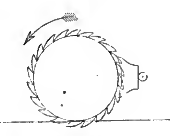
Le frottement de la roue tournant contre le sabot a pour effet de disposer les molécules extérieures du bandage suivant une crémaillère, représentée par le croquis ci-contre.

TABLEAU N° 29.

EXPÉRIENCES SUR LA PUISSANCE DES FREINS.

NATURE des freins.	NUMÉROS des expériences.	VITESSE de marche continue.	VITESSE à la fermeture du régulateur.	GLISSEMENT sur la voie.	ESPACE parcouru jusqu'à l'arrêt.	RÉSISTANCE moyenne du frein.	OBSERVATIONS.
		kilom.	kilom.		mètres.	kil.	
Frein à sabots en bois.	1	»	46	complet.	550	760	Le glissement est complet, lorsque les roues sont calées.
	2	»	42	—	450	740	
	3	»	45	—	630	625	
	4	»	55	—	830	740	Le glissement est partiel lorque les roues tournent un peu au contact des sabots.
	5	»	39	—	295	830	
	6	»	41	—	394	850	
	7	29	»	—	»	980	
	8	38	»	—	»	810	
	9	33	»	—	»	960	
	10	41	»	—	»	880	Poids du fourgon-frein à sabots en bois : 6,398 kilogrammes.
				Résistance moyenne		817	
Frein à sabots en fonte.	1	»	36	partiel.	262	1030	Poids du fourgon-frein, à sabots en fonte : 5,730 kilogrammes.
	2	»	36	—	317	950	
	3	»	32	—	210	1050	
	4	»	64	—	960	985	
	5	»	44	—	358	1110	
	6	»	47	—	595	910	
	7	»	33	—	315	985	
	8	37	»	—	»	1340	
	9	34	»	—	»	1030	
	10	31	»	—	»	1390	
	11	36	»	—	»	1080	
	12	26	»	—	»	1320	
	13	32	»	—	»	1220	
	14	64	»	—	»	260	
	15	36	»	—	»	1400	
	16	43	»	—	»	1340	
	17	30	»	—	»	1400	
	18	43	»	—	»	1200	
	19	47	»	—	»	1000	
	20	28	»	—	»	1340	
	21	33	»	—	»	1100	
				Résistance moyenne		1100	

Cette crémaillère tend à être redressée en sens inverse, à chaque tour, par le glissement au contact du rail. Les deux frottements, voisins et de sens contraire, de plus à peu près égaux, s'augmentent réciproquement d'une manière notable.



Au contraire, lorsque la roue est fixe, il se forme une petite facette plate sur laquelle le glissement s'opère avec plus de facilité.

Ajoutons que la pratique a confirmé ces hypothèses. — En effet, les bandages frottant contre les sabots de fonte se sont usés très-vite, tout en se maintenant ronds.

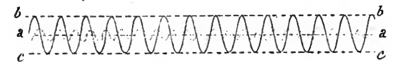
Enfin, nous ferons observer que la résistance des freins augmente à mesure que la vitesse diminue. Ce fait ressort de notre tableau n° 29, et surtout de la forme qu'affectent les courbes des diagrammes. Nous sommes en cela parfaitement d'accord avec les belles expériences dues à M. Bochet, et insérées dans les *Annales des Mines*.

Note G.

LIMITE INFÉRIEURE DE LA VITESSE DES TRAINS.

Sur les fortes rampes que l'on rencontre dans les nouvelles lignes, la vitesse des trains de marchandises tend à être abaissée, afin que les charges ne deviennent pas trop faibles. Incontestablement, cette réduction de vitesse est logique; mais l'étude de nos courbes dynamométriques nous a montré qu'il y avait un grave inconvénient à descendre trop bas.

En effet, tant que le train possède une bonne vitesse, les oscillations de la courbe dynamométrique sont faibles (voir en dessous le tracé pointillé), le train faisant volant par la force vive qu'il tient emmagasinée; mais si le train marche très-lentement, les oscillations de la courbe dynamométrique deviennent considérables (voir le tracé plein).



Dans ce cas, les limites *bb*, *cc* supérieure et inférieure des oscillations s'écartent beaucoup de la ligne *aa*, représentant l'effort de traction moyen; celui-ci, d'ailleurs, ne change pas sensiblement, tant qu'on ne dépasse pas la vitesse de 20 kilomètres à l'heure.

On conçoit donc qu'une très-faible vitesse, ayant pour effet de relever la limite supérieure *bb*, demandera des efforts plus grands pour une même traction moyenne. Par conséquent, il y aura plus de chance de patinage.

Ajoutons que la production de vapeur devient difficile quand la vitesse tombe trop bas.

Pour ces motifs, nous pensons que la limite inférieure de la vitesse des trains doit être fixée à 12 kilomètres à l'heure.

Note H.

RÉSISTANCES DES MACHINES SANS TENDER.

Les résistances propres des machines, d'après ce que nous avons vu dans ce mémoire, peuvent être regardées comme composées de trois éléments :

1° Résistances dues au roulement de la machine considérée comme véhicule;

2° Résistances dues aux frottements du mécanisme;

3° Résistances dues aux frottements additionnels provenant de la pression de la vapeur (note D).

Pour les machines à marchandises à 3 essieux couplés, nous avons trouvé par tonne de machine :

Pour les résistances dues au roulement.	$6^k,15$
» » au frottement du mécanisme.	6, 05
» » aux frottements additionnels provenant de la pression de la vapeur.	3, 02
Total.	15, 22

La résistance totale par tonne de machine à marchandises est donc de $15^k,22$.

On remarquera que la résistance due au frottement du mécanisme à vide (pistons, bielles motrices, glissières, etc.) est à peu près égale à celle du roulement.

Pour les machines mixtes et à roues libres, nous n'avons pas déterminé le troisième élément de leur résistance totale, par la raison qu'à la vitesse ordinaire de ces machines, nous ne pouvions pas faire l'hypothèse qui nous a permis de faire le calcul indiqué pour les machines à marchandises.

Il y a lieu de penser que, pour ces types de machine, les résistances additionnelles par tonne dues à la pression de la vapeur, ne dépassent pas celles trouvées pour les machines à marchandises, et qu'elles sont même à peu près égales à ces dernières.

Cela admis, et en se reportant aux chiffres donnés, on aura approximativement :

MACHINES A VOYAGEURS (*roues libres*).

1°	Pour les résistances dues au roulement.	3k,00
2°	» » au frottement du mécanisme.	2, 00
3°	» » aux frottements additionnels provenant de la pression de la vapeur (valeur approximative).	3, 00
	Résistance totale par tonne.	8, 00

MACHINES MIXTES.

1°	Pour les résistances dues au roulement.	5k,22
2°	» » au frottement du mécanisme.	4, 38
3°	» » aux frottements additionnels provenant de la pression de la vapeur (valeur approximative).	3, 00
	Résistance totale par tonne	12, 60

Note I.

DÉTERMINATION DE LA CHARGE DES TRAINS.

La quatrième partie de notre Mémoire, traitant de la charge que peut traîner une locomotive donnée, permet d'organiser un service de traction sur une ligne de profil connu.

Comme exemple, nous donnerons ici l'ordre de service réglant la charge des trains de marchandises et mixtes sur le réseau de l'Est. Les chiffres qui y sont portés ont été déduits des résultats des expériences.

CHEMINS DE FER DE L'EST.

Matériel de traction.

CHARGE DES TRAINS DE MARCHANDISES ET MIXTES.

La charge des trains de marchandises et mixtes, suivant les différents profils du réseau, sera réglée conformément au présent ordre de service et aux tableaux y annexés.

L'UNITÉ EST DE 10 TONNES, ET TOUTE FRACTION D'UNITÉ SERA COMPTÉE POUR UNE UNITÉ.

Nouvelle charge des trains mixtes et de marchandises.

Le décompte d'un train mixte ou de marchandises comprendra :

1° Le poids du matériel, ou poids mort, chaque véhicule, wagon ou voiture étant compté pour 5 tonnes, ou 1/2 unité ;

2° Le poids total des marchandises transportées, dont l'indication pour chaque wagon devra figurer sur la feuille de route du chef de train.

Le chargement en bestiaux d'un wagon sera compté comme suit, quel que soit d'ailleurs le nombre des bestiaux :

Chevaux, bœufs, vaches, etc.	5 tonnes.
Moutons, veaux, porcs, etc.	3 tonnes.

Toute voiture à voyageurs, tout fourgon à bagages, attelé à un train de marchandises, figurera sur la feuille de route pour un chargement de trois tonnes.

Exemple : Un train de 29 véhicules ayant 268 tonnes de charge utile vaudra $\frac{29}{2}+\frac{268}{10}=42$ unités, c'est-à-dire 26 unités 8/10 pour la charge en marchandises, plus 29 wagons à 1/2 unité, soit 14 unités 1/2 de wagons, en tout 41 unités 3/10, valant 42 unités.

Limites de charge.

Les limites de charge des trains mixtes ou de marchandises, selon la puissance des machines et des profils, sont fixées aux tableaux ci-après.

Les charges minima doivent être traînées en tout temps. Les charges maxima ne peuvent jamais être dépassées.

La charge des trains se trouvera donc comprise entre ces minima et maxima, et sera déterminée chaque jour par le service de la traction.

Dans ce but, les chefs de dépôt remettront chaque jour, à 9 heures du matin, aux gares de départ et aux gares de relai de machines, un double bulletin détaché d'un livre à trois feuillets indiquant, pour chacun des trains, la série de machines qui le remorquera et le nombre d'unités en sus des minima que cette machine pourra traîner sur les différents profils du relai.

Le premier feuillet sera détaché par le chef de gare et sera adressé à M. le Chef du Mouvement à Paris; le deuxième feuillet, annoté au dos, s'il y a lieu, par le chef de gare et timbré, sera rendu immédiatement pour être affiché dans le dépôt et envoyé à la fin de la journée au chef de traction, pour être transmis à M. l'Ingénieur de la traction à Paris.

Ces bulletins devront porter l'empreinte du timbre du dépôt et celle du cachet de la gare.

Au 1er avril, date où commençait habituellement la charge d'été pour les trains, les charges maxima pourront être obligatoires tous les jours jusqu'au 1er novembre, sur la proposition de M. l'Ingénieur de la traction et d'après l'ordre de M. l'Ingénieur en chef du matériel et de la traction.

Trains supplémentaires.

Lorsqu'il sera fait des trains supplémentaires, les chefs de dépôts auront à fournir au service de l'exploitation, dans l'heure qui suivra la demande du train supplémentaire, la série de la machine et la surcharge que cette machine pourra traîner dans son parcours.

Si, pour une cause quelconque, le chef de dépôt jugeait nécessaire de changer les surcharges indiquées sur le bulletin déjà remis à la gare, il devra envoyer un deuxième bulletin annulant le précédent.

Observations relatives aux mécaniciens.

Les mécaniciens sont tenus de satisfaire à l'enlèvement de tous les wagons, tant que la surcharge indiquée par le chef de dépôt n'est pas atteinte. Toutefois, lorsque, par suite de dérangements dans la machine ou de circonstances atmosphériques imprévues ou de toute autre cause, ils croiront devoir refuser ou même faire différer des wagons, ils devront en consigner les motifs sur la feuille de route du chef de train.

Les mécaniciens peuvent accepter une surcharge plus considérable que celle indiquée par le chef de dépôt, tant que cette surcharge ne dépasse pas le maximum porté au tableau de charge.

TABLEAU DE LA CHARGE DES

Selon la puissance des machines sur les

SÉRIE DES MACHINES.	NUMÉROS des machines.	NATURE et vitesse des trains à l'heure.	Profil A. CHARGE minima.	Profil A. CHARGE maxima.	Profil B. CHARGE minima.	Profil B. CHARGE maxima.	Profil C. CHARGE minima	Profil C. CHARGE maxima.	Profil D. CHARGE minima.	Profil D. CHARGE maxima.
1	91 à 100 . .	Mixtes. 28 à 32 kilom.	27	32	20	26	17	21	15	18
	304 à 361. .	Mixtes. 32 à 36 kilom.	22	27	18	22	15	19	14	17
2	104 à 135. . 142 à 158. . 189 à 222. . 243 à 258. . 362 à 420. . 01 à 032. .	Marchandises. 15 à 30 kilom.	28	36	24	31	20	26	18	24
		Mixtes. 28 à 32 kilom.	29	36	23	28	19	23	17	20
		Mixtes. 32 à 36 kilom.	24	32	20	24	16	20	15	18
		Marchandises. 15 à 30 kilom.	30	38	26	34	22	28	19	25
3	223 à 242. .	Mixtes. 28 à 32 kilom.	31	38	25	30	21	25	19	23
		Mixtes. 32 à 36 kilom.	26	33	22	26	18	22	17	20
		Marchandises. 15 à 30 kilom.	32	40	28	36	24	31	21	28
4	300 à 303. .	Marchandises 15 à 30 kilom.	17	24	15	22	13	19	12	18
5	033 à 062. .	Mixtes. 28 à 32 kilom.	32	38	26	30	21	25	19	22
		Mixtes. 32 à 36 kilom.	26	32	22	26	18	22	17	21
	0283 à 0284. .	Marchandises. 15 à 30 kilom.	34	42	31	38	27	34	24	31
6	063 à 0107. . 0114 à 0119. .	Mixtes. 28 à 32 kilom.	34	40	27	32	22	27	20	24
	0189 à 0200. .	Mixtes 32 à 36 kilom.	28	34	24	28	20	24	18	22
	0278 à 0282. .	Marchandises. 15 à 30 kilom.	36	48	33	42	29	37	27	34
7	0120 à 0163. .	Mixtes. 28 à 32 kilom.	32	38	27	32	22	27	20	24
	0212 à 0241. .	Mixtes 32 à 36 kilom.	26	32	24	28	20	24	18	22
		Marchandises. 15 à 30 kilom.	36	48	33	44	30	38	28	35
8	0250 à 0500. .	Mixtes. 28 à 32 kilom.	38	46	33	38	29	33	24	27
		Mixtes. 32 à 36 kilom.	33	39	29	34	25	29	22	25
		Marchandises. 15 à 30 kilom.	42	54	39	50	36	46	32	40
9	0500 à 0541. .	Marchandises. 15 à 26 kilom.	56	72	50	64	46	57	42	52

RAINS DE MARCHANDISES

ivers profils du réseau de l'Est.

Profil E.		Profil F.		Profil G.		Profil H.		OBSERVATIONS.
CHARGE		CHARGE		CHARGE		CHARGE		
minima.	maxima.	minima.	maxima.	minima.	maxima.	minima.	maxima.	
—13—	—16—	—10—	—12—	— 8—	—10—	— 6—	— 7—	
—12—	—15—	— 9—	—11—	— 7—	— 9—	— 5—	— 7—	
—14—	—20—	—12—	—18—	—10—	—16—	— 8—	—13—	
—14—	—17—	—11—	—13—	— 9—	—11—	— 7—	— 9—	
—13—	—16—	—10—	—12—	— 8—	—10—	— 6—	— 8—	
—15—	—21—	—13—	—19—	—11—	—17—	— 9—	—14—	
—15—	—19—	—12—	—15—	—10—	—12—	— 8—	—10—	
—14—	—17—	—11—	—14—	— 9—	—11—	— 7—	— 9—	
—16—	—23—	—14—	—21—	—12—	—18—	—10—	—15—	
—	—	—	—	—	—	—	—	
—16—	—19—	—12—	—15—	—10—	—12—	— 8—	—10—	
—14—	—17—	—11—	—13—	— 9—	—11—	— 7—	— 9—	
—21—	—28—	—18—	—25—	—15—	—22—	—12—	—18—	
—17—	—21—	—13—	—16—	—11—	—13—	— 9—	—11—	
—15—	—18—	—12—	—14—	—10—	—12—	— 8—	—10—	
—23—	—30—	—19—	—26—	—16—	—23—	—12—	—18—	
—17—	—21—	—13—	—16—	—11—	—13—	— 9—	—11—	
—15—	—18—	—12—	—14—	—10—	—12—	— 8—	—10—	
—24—	—31—	—20—	—27—	—17—	—24—	—13—	—19—	
—21—	—24—	—16—	—19—	—14—	—17—	—11—	—13—	
—19—	—22—	—15—	—18—	—13—	—16—	—10—	—12—	
—27—	—34—	—22—	—29—	—19—	—26—	—15—	—22—	
—36—	—46—	—30—	—40—	—25—	—35—	—20—	—30—	

OBSERVATIONS.

Profil A. Palier ou pente.
— B. Rampe inférieure à 2 $^{m}/_{m}$.
— C. — . . de 2 à 4
— D. — . . de 4 à 6
— E. — . . de 6 à 8
— F. — . . de 8 à 10
— G. — . . de 10 à 12
— H. — . . de 12 à 16

—

Les charges sur la ligne de Luxembourg à Pepinster sont fixées jusqu'à présent par un Règlement spécial.

—

Classement de toutes les lignes du réseau suivant les profils types.

Profil A.

TRAINS IMPAIRS.

La Ferté-sous-Jouarre à Blesme.
Nancy à Blainville.
Lützelbourg à Strasbourg.
Chalindrey à Port-d'Atelier.
Bas-Evette à Mulhouse.
Lauoois à Charleville.
Saint-Erme à Laon.
Charleville à Chauvency.
Auduo à Thionville.
Cons à Longwy.
Chalindrey à Gray.
Naucy à Ars.
Metz à Thionville.
Xertigny à Port-d'Atelier
Strasbourg à Rouffach.
Lutterbach à Saint-Louis.
Flamboin à Montereau.
Luxembourg à Diekirch.
Strasbourg à Kehl.
Plaffenberg à Niederbronn.
Farschwiller à Sarreguemines.
Germaine à Reims.

TRAINS PAIRS.

Avricourt à Frouard.
Pagny à La Ferté-sous-Jouarre.
Ronchamp à Vesoul.
Port-d'Atelier à La Ferté-Bourbon.
Chaumont à Bar-s.-Aube.
Vendeuvre à Naugis.
Witry-lez-Reims à Soissons.
Audun à Charleville.
Longwy à Longuyon.
Chaumont à Blesme.
St-Avold à Pont-à-Mousson.
Noidans à Vaivre.
Bollwiller à Strasbourg.
Wesserling à Mulhouse.
Montereau à Flamboin.
Bar-sur-Seine à Troyes.
Esch à Bettembourg.
Ottange à Bettembourg.
Kelh à Strasbourg.
Saint-Dié à Lunéville.
Molsheim à Strasbourg.
Mutzig à Molsheim.
Wasselonne à Molsheim.
Niederbronn à Haguenau.
Ste-Marie à Schlestadt.
Einvaux à Blainville.
Haguenau à Strasbourg.
Xertigny à Bayon.
Germaine à Epernay.

Profil B.

TRAINS IMPAIRS.

Paris à La Ferté-s-Jouarre.
Blesme à Nancy.
Blainville à Lützelbourg.
Paris à Nogent-s.-Marne.
Emérainville à Troyes.
Soissons à Reims.
Charleville à Givet.
Reims à Guignicourt.
Chauvency à Pierrepont.
Blesme à Donjeux.
Noidans à Gray.
Strasbourg à Wissembourg.
Rouffach à Lutterbach.
Mulhouse à Lutterbach.
Longueville à Provins.
Gretz à Mortcerf.
Troyes à Bar-sur-Seine.
Bricon à Châteauvillain.
Strasbourg à Molsheim.
Haguenau à Niederbronn.

TRAINS PAIRS.

Strasbourg à Avricourt.
Frouard à Pagny-s-Meuse.
La Ferte-s-Jouarre à Paris.
Naugis à Paris.
Givet à Poix-Terron.
Laon à Guignicourt.
Pont-à-Mousson à Nancy.
Wissembourg à Haguenau.
Bâle à Bolwiller.
Provins à Longueville.
Marles à Gretz.
Diekirch à Dommeldange.
Carling à Merlebach.
Luxembourg à Metz.
Bayon à Einvaux.

Profil C.

TRAINS IMPAIRS.

Troyes à Maranville.
Chaumont à Chalindrey.
Port-d'Atelier à Lure.
Reims à Launois.
Guignicourt à St-Erme.
Pierrepont à Audun.
Longuyon à Cons.
Ars à Forbach.
Bettembourg à Luxemb.
Blainville à Xertigny.
Port-d'Atelier à Noidans.
Mortcerf à Coulommiers.
Bettembourg à Esch.
Bettembourg à Ottange.
Lunéville à Saint-Die.
Avricourt à Dieuze.

TRAINS PAIRS.

Mulhouse à Ronchamp.
Vesoul à Port-d'Atelier.
Chalindrey à Chaumont.
Bar-s-Aube à Vendeuvre.
Poix à Witry-lez-Reims.
Guignicourt à Reims.
Forbach à Saint-Avold.
Gray à Noidans.
Vaivres à Xertigny.
Reims à Châlons.

Profil D.

TRAINS IMPAIRS.

Nogent-sur-Marne à Emérainville.
Maranville à Chaumont.
Lure à Bas-Evette.
Donjeux à Chaumont.
Saint-Louis à Bâle.
Lutterbach à Thaon.
Châlons à Reims.
Latrecey à Courban.
Molsheim à Wasselonne.
Molsheim à Mutzig.

TRAINS PAIRS.

La Ferté-Bourbon à Chalindrey.
Gray à Chalindrey.
Latrecey à Chaumont.
Barr à Molsheim.

Profil E.

TRAINS IMPAIRS.

Épinal à Remiremont.
Molsheim à Barr.

TRAINS PAIRS.

Coulommiers à Marles.
Niederbronn à Banstein.
Sarreguemines à Carling.
Courbau à Latrecey.
Remiremont à Épinal.
Dieuze à Avricourt.
Thionville à Audun.

Profil F.

TRAINS IMPAIRS.

Épernay à Germaine.
Merlebach à Farschwiller.
Châteauvillain à Latrecey.
Schlestadt à Liepvre.

TRAINS PAIRS

Reims à Germaine.

Profil G.

TRAINS IMPAIRS.

Thionville à Bettembourg.
Thann à Saint-Amarin.
Rohrbach à Plaffenberg.
Courban à Châtillon.

TRAINS PAIRS.

Dommeldange à Luxemb.
Lemberg à Sarreguemines.
Châtillon à Courbau.

Profil H.

RTAINS IMPAIRS.

St-Amarin à Wesserling.
Sarreguemines à Rohrbach
Liepvre à Sainte-Marie.

TRAINS PAIRS.

Banstein à Lemberg.

Bulletin de mise en tête des trains.

Tout mécanicien devant prendre un service de train quelconque, mixte ou do marchandises, régulier ou supplémentaire, établira un bulletin de mise en tête du train qui portera la date et le numéro du train, les noms du mécanicien et du chauffeur, le numéro de la machine et du tender et le nombre d'unités de surcharge que peut prendre la machine dans son parcours.

Ce bulletin de mise en tête sera remis par le mécanicien à l'agent de l'exploitation chargé du service du train; il devra être conforme aux indications portées sur l'état affiché au dépôt.

Ce bulletin est joint par le chef du train à la feuille de route du train; les chefs de gare y portent la surcharge à l'arrivée et au départ du train de leur gare, comme il est indiqué par ces mots :

Surcharge réelle

De *à* *unités.*

Le mécanicien, arrivé au bout de son parcours, réclamera le présent bulletin et le joindra à la feuille de route.

Trains partant des gares intermédiaires.

En ce qui concerne les trains réguliers et supplémentaires partant des gares intermédiaires, telles que La Ferté-sous-Jouarre, Ronchamp, Haguenau, etc., les surcharges seront fixées en temps utile par les chefs de dépôt qui fournissent les machines, ou, à défaut, par les mécaniciens de ces trains.

Tous les trains pour lesquels il n'aura pas été indiqué de surcharge ne pourront être composés qu'à la charge minima du tableau ci-joint.

Trains de wagons vides.

Le nombre de wagons vides d'un train ne pourra, dans aucun cas, surpasser une fois et demie le nombre minimum d'unités indiquées pour la charge de la machine.

Doubles tractions.

Pour les trains en double traction, la charge ne devra pas excéder la somme des charges minima fixées pour chaquo machine, réduite de cinq unités, quel que soit l'état du temps; elle pourra même encore être moindre à cause de l'état des attelages, si le chef de dépôt l'exige.

Machines de rampe.

Une machine de rampe pourra être attelée :

1° De Saverne à Sarrebourg,

2° De Flamboin à Maison-Rouge,

lorsque la charge dépassera celle indiquée pour la machine du train au profil D;

3° De Nançois à Loxéville,

4° De Lérouville à Loxéville,

5° D'Épinal à Douxnoux,

lorsque la charge dépassera celle indiquée pour la machine du train au profil E;

6° De Joppécourt à Audun,

7° D'Aillevillers à Bains,

8° De Rethel à Launois,

9° De Hayange à Audun,

lorsque la charge dépassera celle indiquée pour la machine du train au profil F;

10° De Blainville à Einvaux,

lorsque la charge dépassera celle indiquée pour la machine du train au profil G.

Comme nous l'avons dit plus haut, les chiffres portés au présent ordre de service ont été déduits des résultats des expériences. La pratique a montré depuis qu'ils étaient parfaitement déterminés.

Un petit nombre d'entre eux pourraient sembler, au premier abord, présenter des anomalies. Ces exceptions proviennent de ce que, dans certains cas, pour classer le profil de la ligne et déterminer la charge à donner sur ce profil, on a dû tenir compte de certaines exigences du trafic et admettre que les machines peuvent donner accidentellement ce que nous avons déjà appelé un coup de collier.

Ajoutons, pour compléter le système adopté par la Compagnie de l'Est, qu'avec des charges de train variables, il devenait aussi nécessaire d'établir des allocations variables, suivant les charges. C'est pourquoi des allocations fixes furent établies pour la remorque des charges minima et des allocations supplémentaires, variables suivant les profils, pour chaque unité de charge en sus des minima.

Les allocations fixes pour les machines à marchandises s'élèvent à 15, 16, 17, 18, 19 et 23 kilogrammes par kilomètre, suivant les types de machines.

Les allocations supplémentaires sont fixées comme suit :

0k,60 par unité de surcharge sur les profils		A et B,
1k,30	id.	C et D,
1k,60	id.	E et F,
2k,00	id.	G et H,

quels que soient les types des machines.

Une prime est également accordée au personnel de la traction, lorsque les machines gravissent seules les rampes où elles ont droit à la machine de renfort.

Note K.

COMPOSITION DES GRAISSES DU CHEMIN DE FER DE L'EST.

Les expériences citées à la page 36 (FROTTEMENT DANS UNE BOÎTE A GRAISSE), ont été faites en se servant de la graisse et de l'huile employées encore aujourd'hui à la compagnie des chemins de fer de l'Est.

La graisse a la composition suivante :

GRAISSE D'HIVER.	Suif blanc	0.123
	Suif gris	0.123
	Huile de palme	0.123
	Vieille graisse régénérée	0.123
	Eau pure	0.388
	Lessive	0.120
		1.000

GRAISSE D'ÉTÉ.	Suif blanc	0.22
	Suif gris	0.22
	Eau pure	0.41
	Lessive	0.15
		1.00

Pour les boîtes à l'huile, on se sert d'huile de colza non épurée.

Comme on le voit par la composition ci-dessus, la graisse employée a été de qualité assez ordinaire. En se servant de graisses meilleures, on obtiendrait des coefficients se rapprochant plus ou moins de ceux que nous avons obtenus pour l'huile.

FIN DES NOTES.

LÉGENDE

des Planches et II.

WAGON DYNAMOMÈTRE.

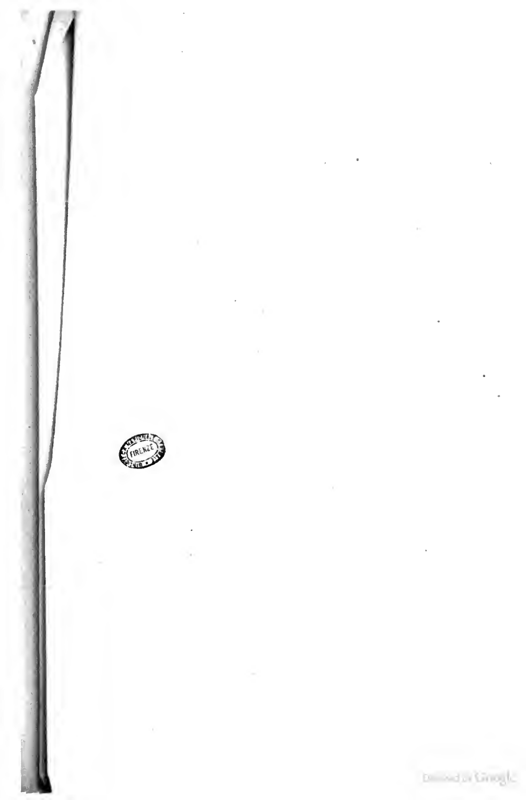
Chape mobile du ressort	*a.*
Chape fixe du ressort	*b.*
Crayon marquant la force	*c.*
Rouleau où s'enroule le papier	*d.*
Caisse renfermant le mouvement d'horlogerie	*f.*
Crayon marquant les minutes	*g.*
Crayon marquant les distances	*h.*
Crayon marquant la ligne des abcisses	*i.*
Boîte du compteur de distances	*l.*
Excentrique faisant mouvoir le compteur	*m.*

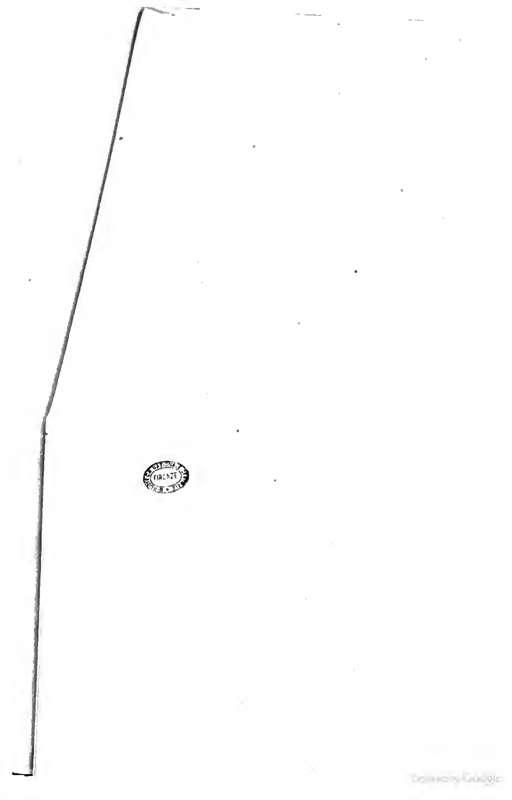


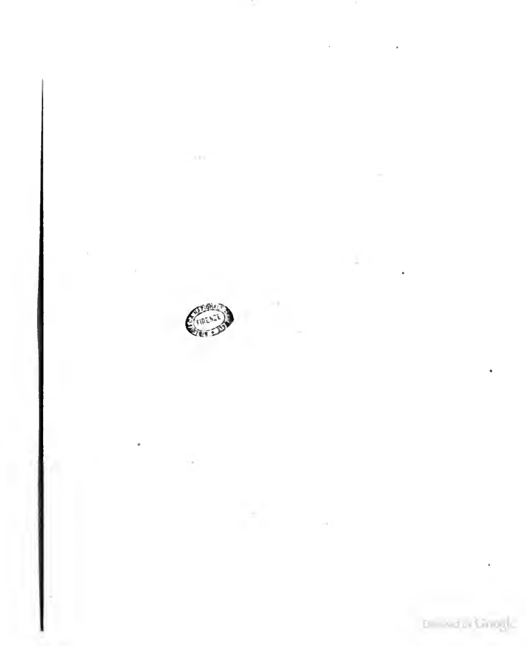
NOTA. — La girouette et la boussole ne sont pas indiquées sur le plan.

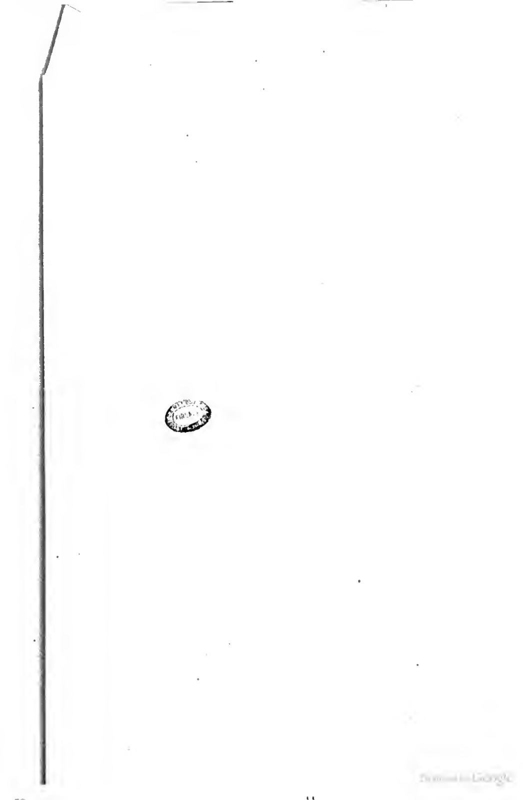
On a aussi ajouté une guérite vitrée à l'avant pour surveiller le mécanicien et la conduite de la machine.

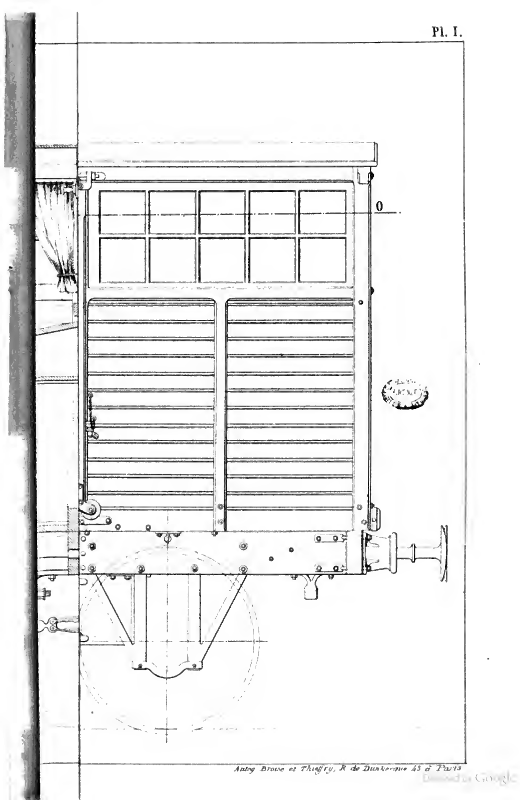
Paris. — Imprimerie de P.-A. BOURDIER, CAPIOMONT fils et Cie, rue des Poitevins, 6.
IMPRIMEURS DE LA SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS.

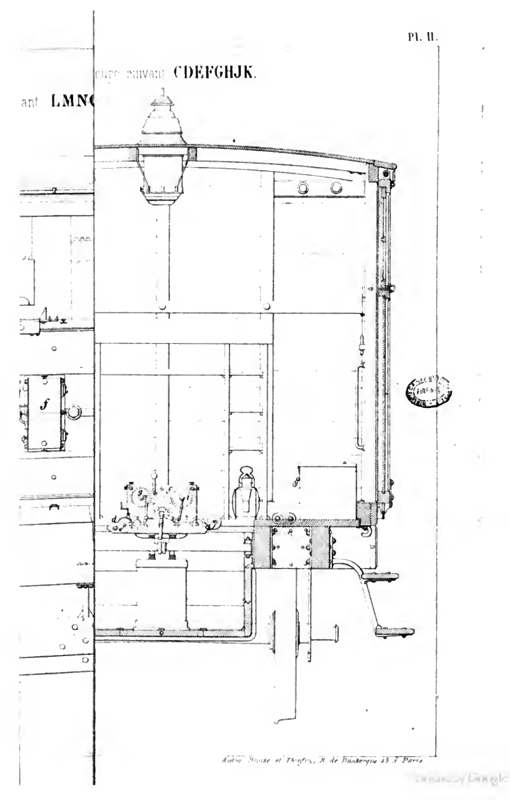

FIRENZE

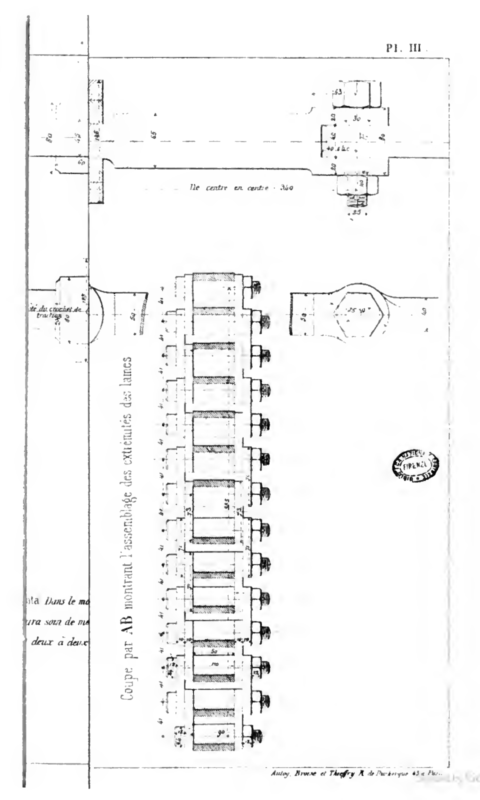

FIRENZE






0
Autog Brouse et Thieffry, R de Dunkerque 43 à Paris

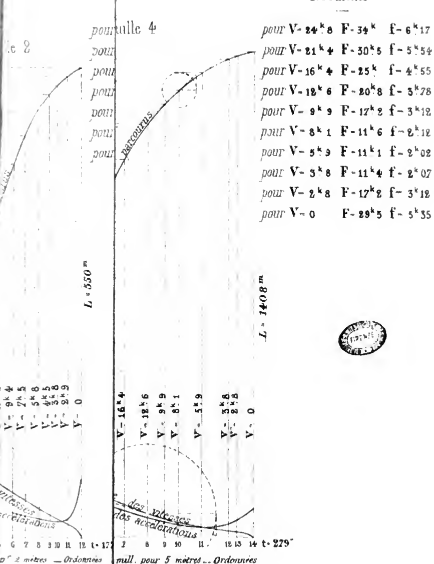

Coupe suivant CDEFGHJK.
ant LMNC
f
Aubry Bruse et Thiefry, R. de Dunkerque 43 à Paris


De centre en centre · 340
Coupe par AB montrant l'assemblage des extrémités des lames
Autog. Brose et Thiéfry R. de Dunkerque 43 à Paris

4ème Expérience
sur le roulement du
Wagon-dynanomètre
Poids 5500k

Résultats

pour V - 24k8	F - 34k	f - 6k17
pour V - 21k4	F - 30k5	f - 5k54
pour V - 16k4	F - 25k	f - 4k55
pour V - 12k6	F - 20k8	f - 3k78
pour V - 9k9	F - 17k2	f - 3k12
pour V - 8k1	F - 11k6	f - 2k12
pour V - 5k9	F - 11k1	f - 2k02
pour V - 3k8	F - 11k4	f - 2k07
pour V - 2k8	F - 17k2	f - 3k12
pour V - 0	F - 29k5	f - 5k35



Autog. Brosse et Thierry, R. de Dunkerque à Paris

(387.47)

(540.86)

(255.63)

Liége

LUXEMBOURG

Dommeldange

Francorchamps

SPA

Lareid (Halte)

Theux

Juslenville (Halte)

Pepinster (Bifurcation)

Ensival

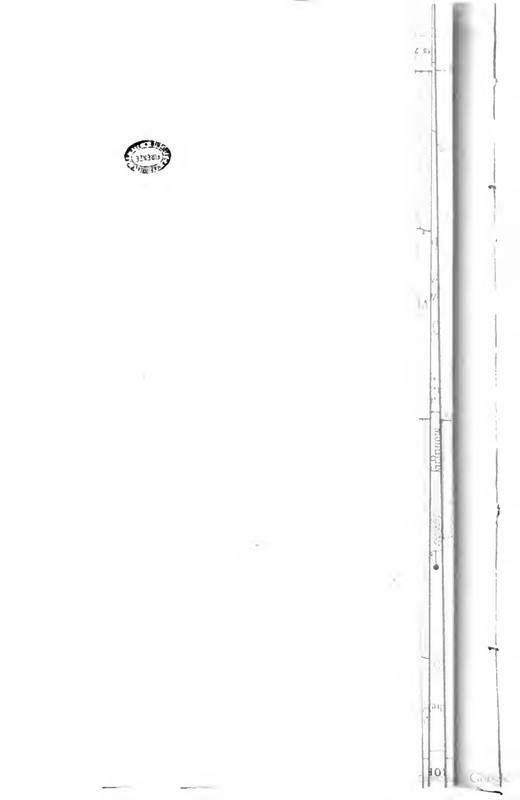
VERVIERS

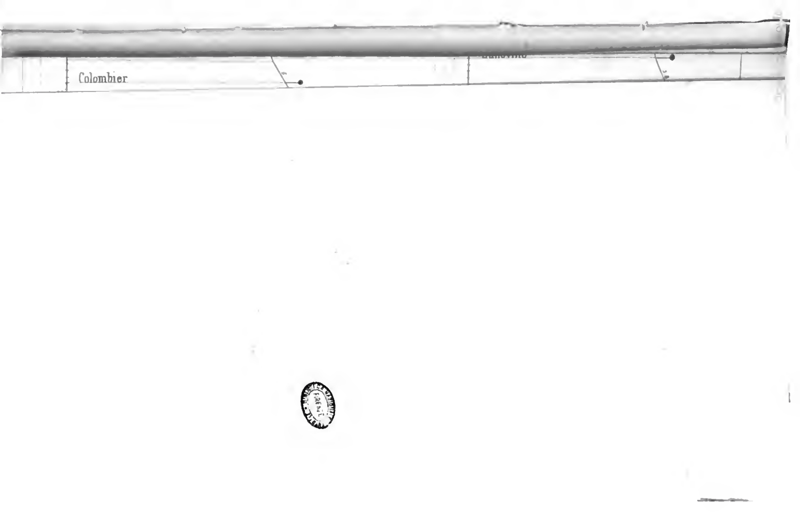
0 110 120 130 140

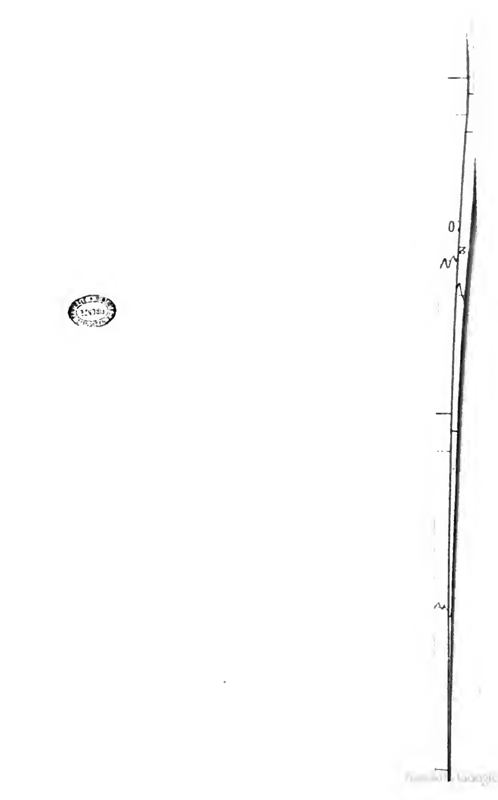
13 26 15 93 11 68 4 85

Société des Ingénieurs

Autographie Bruas et Thuffy Rue de Dunkerque 43 à Paris




Colombier



EXTRAIT DU CATALOGUE

DE LA

LIBRAIRIE SCIENTIFIQUE, INDUSTRIELLE ET AGRICOLE

EUGÈNE LACROIX, ÉDITEUR

Annales du Génie civil. [illegible] le [illegible] [illegible] [illegible] vant, [illegible] EUG. LA[illegible] publication.

Les Annales du Génie civil paraissent [illegible] depuis le 1er janvier 1862 [illegible] grand [illegible] figures dans le texte [illegible] in-4 double.

Prix de l'abonnement : 2[illegible] fr. [illegible] séparés, 4 francs. Les anciens [illegible] 9 [illegible] 40 planches in-fol. et in-4, prix [illegible] *Il ne reste plus que quelques exemplaires de la 1re série.*

Les Annales du Génie civil, destinées [illegible] pratiques, ont [illegible] depuis que elles paraissent. [illegible] question importante dans les [illegible] qui n'ait été traitée par des hommes [illegible] civil, qui se trouve aujourd'hui dans [illegible] de tous les ingénieurs et de tous les [illegible].

Études sur l'Exposition de 1867 ou Annales et Archives de l'Industrie au XIXe siècle. Description générale, encyclopédique, méthodique et raisonnée de l'état actuel des arts, des sciences, de l'industrie et de l'agriculture chez toutes les nations, recueil de travaux techniques, théoriques, pratiques et historiques, par MM. les rédacteurs des *Annales du Génie civil*, avec la collaboration de savants, d'ingénieurs et de professeurs français et étrangers. *Directeur de la publication* EUGÈNE LACROIX, membre de l'Institut royal des Ingénieurs hollandais et de la Société industrielle de Mulhouse.

Prix [illegible] (ouvrage [illegible]) [illegible] fr.

(Chaque série ou volume se vend aussi séparément avec ses planches 20 fr.)

[illegible]

Portefeuille de l'ingénieur des chemins de fer, [illegible] Prix [illegible] fr.

— **Nouveau Portefeuille de l'ingénieur des Chemins de fer**, [illegible] 14 [illegible] [illegible] fr.

[illegible]

[illegible] **Album encyclopédique des chemins de fer**, [illegible] Prix [illegible]

Carnet de l'ingénieur, recueil de tables, de formules et de renseignements pratiques à [illegible] et [illegible] et [illegible]

[illegible] M. M[illegible] 1863 [illegible]

[illegible] texte [illegible]

[illegible]	3 fr.
[illegible]	4 fr.
[illegible]	6 fr.

[illegible] — Physique et chimie. — Chaleur et combustibles. — Machines à vapeur. — Géologie. — Données économiques, mesures, monnaies, etc., etc.

Paris. — Imprimerie de P.-A. BOURDIER, CAPIOMONT fils et Cie, [illegible], rue des Poitevins.